

Chapitre 1 : Reproduction sexuée chez les angiospermes

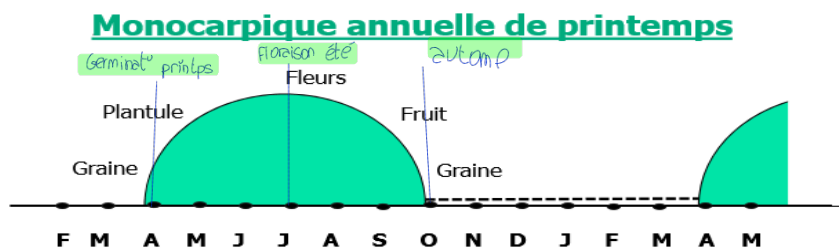
INTRODUCTION

Les angiospermes sont des **plantes d'intérêt agronomiques**, raison pour laquelle on a de **nombreuses études** sur ces espèces. On a des **innovations** qui vont leur permettre de **coloniser de nombreux biotopes**. Mécanisme **d'auto-comptabilité** (autofécondation). La **floraison** est une **transition importante**, car elle représente la fin de la vie végétative et marque pour une majorité la fin de la vie de la plante.

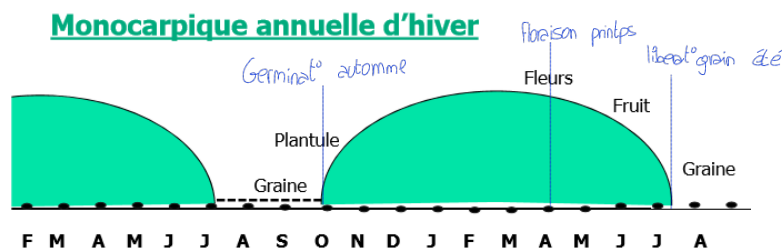
On distingue **différents types d'angiospermes** :

➤ **Monocarpique annuelle** : ne fleurisse **qu'une fois** et après la floraison il y a **mort de la plante**. Cycle de vie qui dure **moins d'un an** (monocarpique annuelle). Il existe **2 types de plante monocarpique annuelle** :

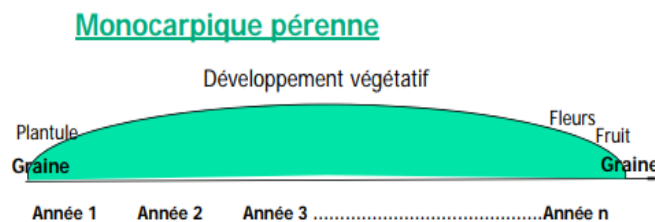
- **De printemps** : germination s'effectue au **printemps** ensuite la **plantule se développe**, la **fleur** se forme ainsi que les **fruits et graines**. La graine peut entrer en **dormance** et attendre la lever de dormance.



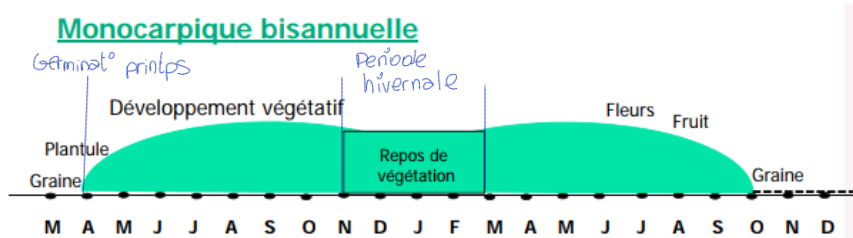
- **D'hiver** : la **germination se produit en automne**, développement de la **plantule qui commence en hiver**. La plante **freine** alors son **développement végétatif** et il va **continuer au printemps** dans des **conditions plus favorable** : **floraison** puis formations **fruit/graine**. En fin de **printemps**, il y a la **floraison**. Germination de la **graine** après une certaine période. Mois d'octobre.



➤ **Monocarpique pérenne** : Plante qui ne **fleurisse qu'une fois** et **cycle de vie** qui s'étale sur **plus de deux ans**. (plusieurs années)



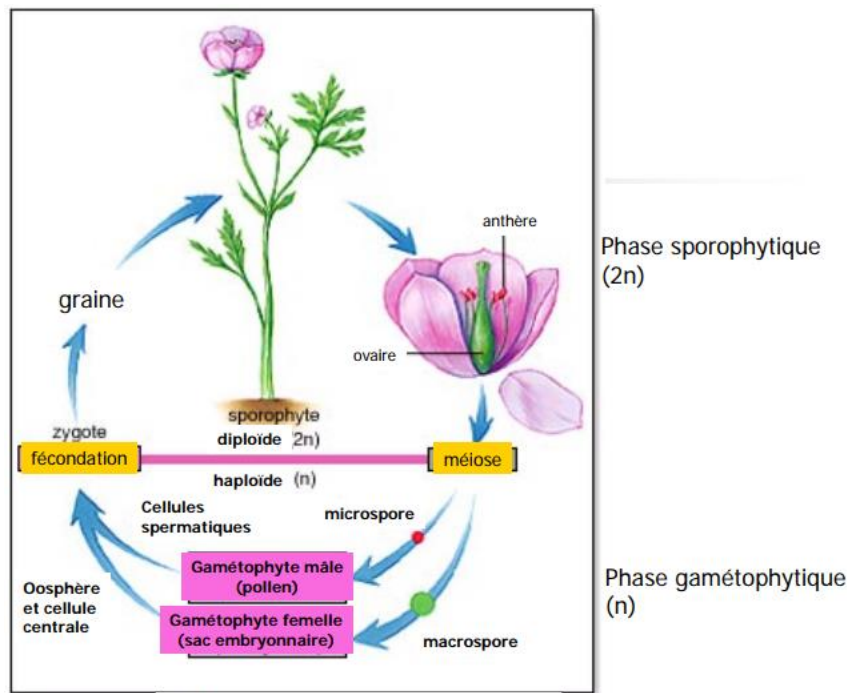
➤ **Monocarpique bisannuelle** : cycle s'étend **sur deux ans**. Une **graine qui germe au printemps**, développement de la **plantule**. Durant la **première année : développement végétatif**. Réserves **accumulées** dans des **organes spécifiques**. Pendant la période **hivernale, repos de la végétation**, phase d'attente. Au **printemps**, **reprise du développement végétatif**, utilisation des **réserves accumulées**. **Floraison**, fécondation, émission de graine puis mort de la plante.



- **Polycarpique (pérenne)** : Plante qui **fleurit tous les ans** et sont **pérennes** car vie qui se poursuit pendant **plusieurs années**. Ne **meurt pas** après **l'élimination de ses graines**. Pommier : Seulement **certains bourgeons** effectuent la **transition florale** et **produisent les graines**. Ils ne vont **pas se renouveler**. Tous les bourgeons ne vont **pas effectuer cette transition**, certains restent à l'état végétatifs, ils effectuent le **développement végétatif** et l'**élaboration des rameaux** l'année suivante.

❖ **Cycle de développement des angiospermes** : ver cours L1

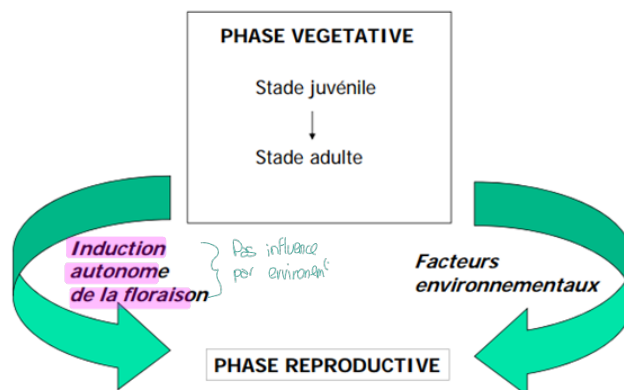
- **Phase sporophytique (2n)**, la transition florale s'effectue à ce niveau, c'est la **méiose** qui conduit à la formation des gamètes et démarre la phase gamétophytique.
- **Phase gamétophytique (n)**



I. PASSAGE D'UN MÉRISTÈME VÉGÉTATIF À UN MÉRISTÈME REPRODUCTEUR

Dans certains cas, il faut un **certain nombre d'années avant le développement** de la plante. Il y a une **notion d'âge de la plante**. On a des **facteurs internes** qui vont contrôler ce passage d'un **méristème végétatif** à un **méristème reproducteur**. Développement ne se fait **pas à n'importe quel moment de l'année**. On a aussi des **facteurs environnementaux** qui influent là-dessus. Il y a également une **notion de saison**.

• A un moment donné le MAC s'arrête de produire de feuille et fleur (état végétatif) pour passer à un état reproductif.
Méristème végétatif → Méristème reproducteur



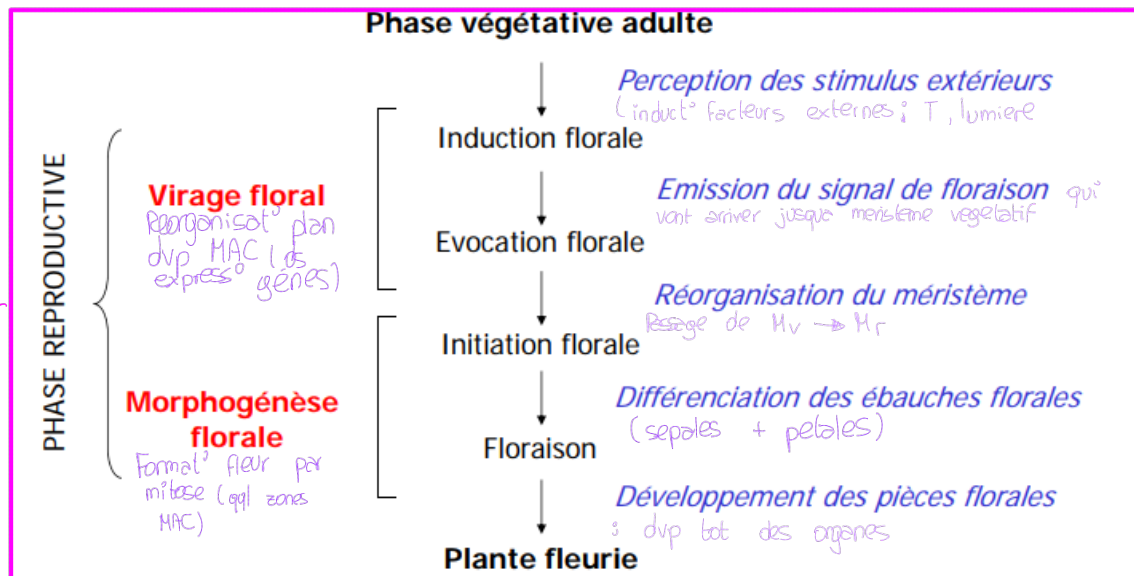
A. Les différentes étapes

Phase veg → Phase repro

1. La phase végétative stade juvénile

Les **méristèmes** sont **incapables** de percevoir les **signaux de floraison** on dit que le **méristème** est **incompétent**. incapable les info environnement permettant de réaliser passage à stade reproducteur

2. La phase végétative stade adulte



Les **méristèmes** sont dit **compétents**, entre les 2 on a **acquisition de la compétence**. Les méristèmes sont capables de **recevoir ces signaux de floraison** et donc la **transition** pourra s'effectuer.

3. Facteurs environnementaux

état végétatif → état reproducteur si les condit° environnement sont correctes

Selon les plantes, on n'a pas forcément besoin de les placer dans des **conditions environnementales particulières** pour qu'elle puisse fleurir (**induction florale autonome**). Cependant, pour la majorité des plantes, il faut effectivement des **facteurs environnementaux** assez précis pour pouvoir déclencher ce passage à la phase reproductive.

Plusieurs étapes entre phase végétative adulte et floraison :

- **Virage florale** : changement de **programme de développement** du méristème au niveau de l'**expression des gènes**, réorganisation du programme, non visible à l'œil nu.
 - **Induction florale** : les **facteurs environnementaux** qui sont perçus par la plante. La plante va constituer des **signaux de floraison** à partir de ses organes. Émission de signaux de floraison de la **feuille** vers le **méristème**. Information qui arrive aux méristèmes et provoque le **changement de développement** de celui-ci.
- **Morphogénèse florale** : La **formation de la fleur**. Les **mitoses** reprennent dans certains **secteurs du méristème**. Il se réorganise et progressivement on voit se former des **ébauches des organes floraux** (sépalés, pétales). **Développement des pièces** jusqu'à obtenir la **fleur complètement formée**.

B. Acquisition de la compétence

1- Caractéristiques

Pour certaines plantes, **différence entre le stade juvénile et le stade adulte**

Exemple ; Lierre. La forme adulte a une forme lobée, tandis que la forme juvénile a une forme différente, sans lobe.

Pour d'autres plantes, on n'a pas de **différences morphologiques** notables, c'est le **développement végétatif** qui montre si c'est un adulte.

Exemple : pour la tomate pour être au stade adulte il faut un développement de 13 **entre nœud** et pour le blé 7 feuilles.

Entre ces formes juvéniles et adultes, des **formes intermédiaires** se mettent en place.

2- Modèle combinatoire

Pour certains éléments du développement on n'a **pas de changements**. Ici, l'axe noir indique qu'il n'y a **pas de changements selon le stade de développement**. Ce modèle explique que **les transitions** entre ces différentes phases **sont progressive** et que **certaines phases se chevauchent**. Le développement de l'axe principal se fait avec le **méristème apical**. Les **derniers organes formés** sont les **plus adultes** et **reproducteurs**, mais les **plus anciens** à la base de la plante sont au **stade juvénile**.

Ré juvénilisation : « retour en arrière ». Si on place des plantes dans des **conditions non favorables** au développement on peut **freiner le développement au stade adulte** et faire un **retour vers le stade juvénile**.

3. Autre caractéristiques

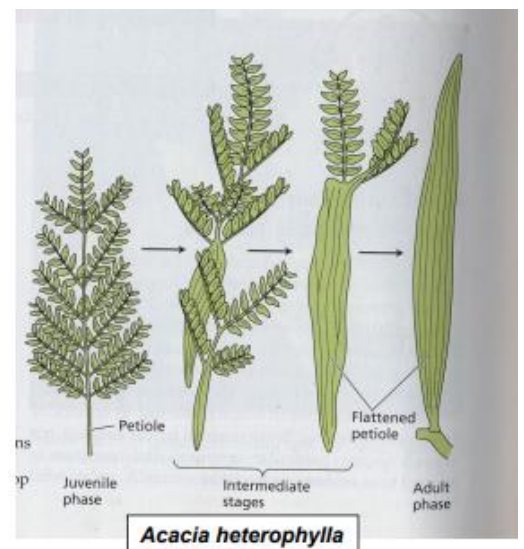
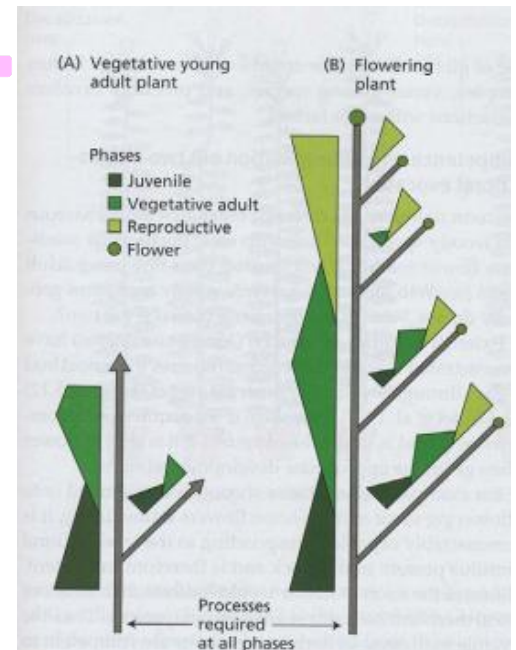
L'état végétatif adulte ^{juvénile} est gardé en mémoire par les bourgeons.

- Chez le **lierre**, si on prend bourgeon à l'état juvénile on aura un **développement à l'état juvénile**.
- **Bouleau** : si on prend un **greffon** sur des **partie juvéniles** et si on le place sur porte greffe, on aura des **rameaux** qui vont se développés de **façon juvénile**. Par contre si on prend des **greffons** dans une zone déjà au **stade adulte**, et qu'on le greffe sur un porte greffe du même âge, on aura un **développement au stade adulte**.
- D'autres expériences indiquent que **la non floraison n'est pas due à un état juvénile persistant**. Par exemple chez la mangue, certains arbres **ne fleurissent pas**. Si on prend bourgeon et qu'on les met sur un porte greffe, on peut obtenir **floraison** au niveau des **rameaux**. Au niveau du manguier les stades adultes étaient déjà obtenus **mais** on a **des facteurs internes qui bloquent le passage de l'état adulte à l'état reproducteur**.

4. Les facteurs

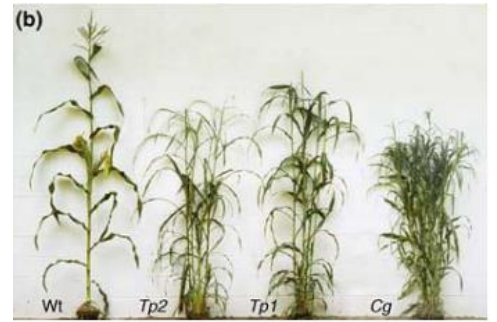
Plusieurs types :
^{lié nutritif} ^{tissus + organes}

- **Facteurs trophiques** : exemple de la tomate avec une **floraison** qui peut s'effectuer que lorsque le plan a **13 nœuds**. Il faut donc un certain nombre de feuilles formées pour que le passage soit possible. **Carbohydrates importants**. Si on place certaines plantes en conditions de **faible éclairciment**, on aura un **retard de la floraison** ou un **retour au stade juvénile**. Il y a **moins de photosynthèse** et donc d'apport de carbohydrate aux méristèmes.
- **Facteurs génétiques** : Les **gènes sont importants** pour le passage du **stade juvénile à adulte**. Exemple : **3 types de mutants** où les **gènes sont non fonctionnelles** ce qui **empêche le passage de l'état juvénile à adulte**. Facteurs **important pour la transition**.



- **Phytohormones** : Substance qui **circulent** dans **l'ensemble de la plante** et qui **permet** la **communication** entre **cellules** et **organes**. Elles agissent à **très faible concentration** et assurent un **équilibre de la plante**.

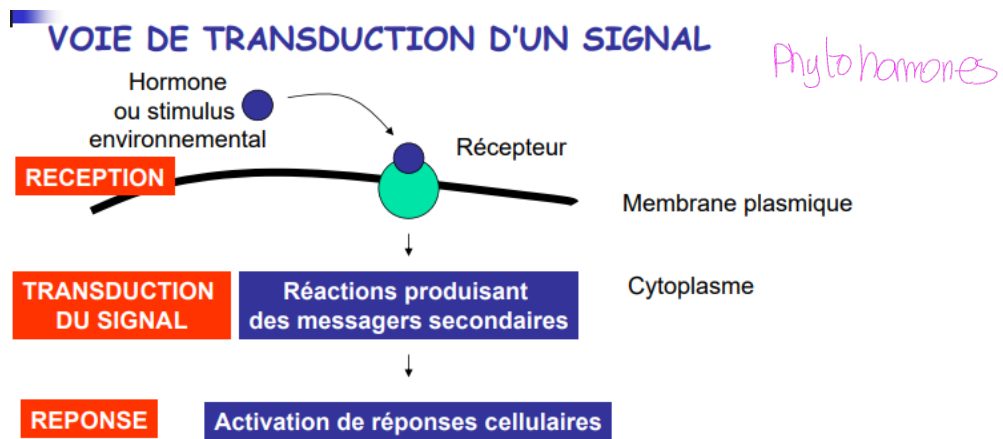
- **Gibbérellines** importantes pour le **passage de l'état juvénile à adulte** et **permet une floraison accélérée** (voir expériences). Le **stress hydrique** peut provoquer **l'augmentation des gibbérellines internes** et donc la **transition**. Ce sont des **phytohormones** favorisant la **transition de l'état juvénile à adulte**. Chez le **lierre** les gibbérellines favorisent le **stade juvénile**.



C. L'induction florale → Induit par facteurs enviro majorita (ps)

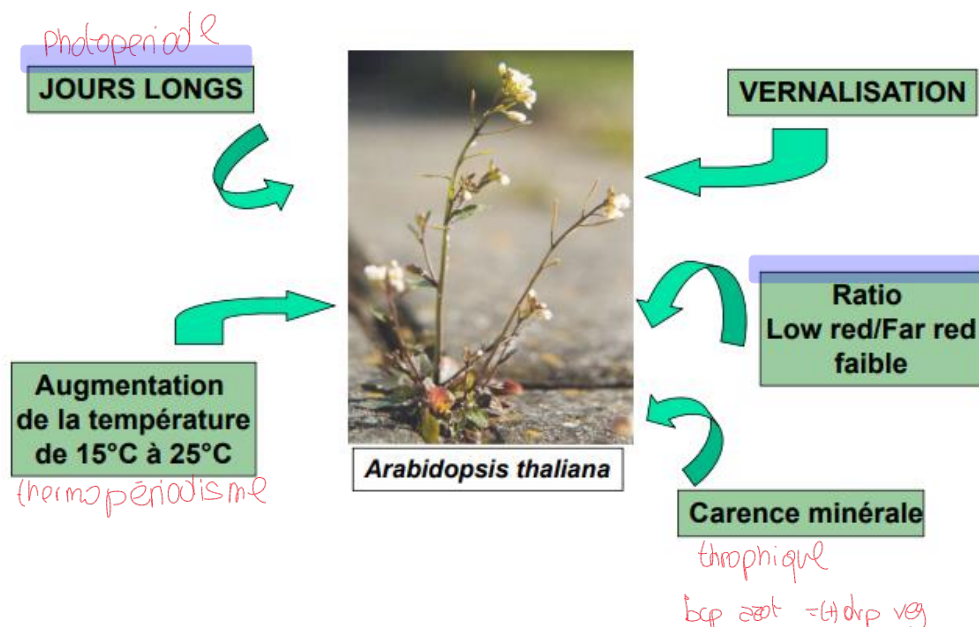
Quatre voies métaboliques principales conduisant à la floraison de la plante citée au-dessus :

- **Jours longs** : intervention de protéines en cascade répondant à cette induction de la floraison des jours longs



- **Vernalisation** : besoin de froid
- **Voie autonome** : permet la floraison sans induction par des facteurs environnementaux
- **Réponse aux GB** : synthèse et signalisation

Toutes ces **voies convergent** pour arriver à faire **changer le programme végétatif**. De nombreuses **voies métaboliques** peuvent fonctionner **simultanément** mais doivent être **intégrées** au niveau du **méristème** pour pouvoir déclencher la **floraison**. Cette **intégration** se fait au niveau de **deux gènes intégrateurs**.



1- Facteurs environnementaux

Photo period
Vernalisat°

a- Photopériode (alternance jour/nuit)

- **Héméropériode** (période de jour)
- **Nyctéropériode** (nuit)
- **Espèces aphotiques** : plantes qui n'ont pas besoin d'éclairement pour fleurir, elles possèdent beaucoup de réserves, photopériode qui n'intervient pas
- **Espèces indifférentes** : besoin de lumière pour la photosynthèse, ne vont pas fleurir en réponse à la photopériode. *fleurir mais pas besoin photopériode soit 90*
- **Espèces de jours longs** : espèces qui fleurissent pour une héméropériode supérieur à l'héméropériode critique, exemple : épinard héméropériode critique de 13 heures
- **Espèces de jours courts** : espèces qui fleurissent lorsque l'héméropériode est inférieur à l'héméropériode critique
- **Héméropériode critique** : durée du jour à un point donné pour une espèce, c'est la limite qui fait que l'on a floraison.

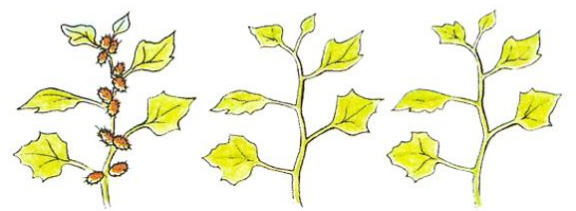
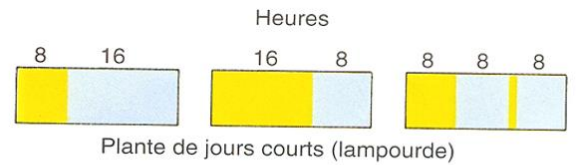
Besoin obligatoire photopériode pour fleurir

- **Réception du signal lumineux ?**
- **Transduction du signal ?** ⇒ *Phytochrome*
- **Mécanisme de mesure de la photopériode ?**

La plante mesure la durée du jour ou de la nuit ?

- **Expériences : Hammer et Bonner sur plantes de jours courts/longs.**

- Pour la première plante de jours courts 8h de jour 16h de nuit floraison se fait, pour la 2^{ème} c'est l'inverse (la floraison ne se fait pas) et la 3^{ème} nuit interrompue : floraison empêchée → nuit est importante et ne doit pas être interrompue
- Pour la plante de jour long il faut une nuit courte pour que la floraison puisse se faire correctement.



Plante de jours longs (jusquiame)



si elle a des nuits courts m si elle a salement de 8h jour elle ne peut pas fleurir

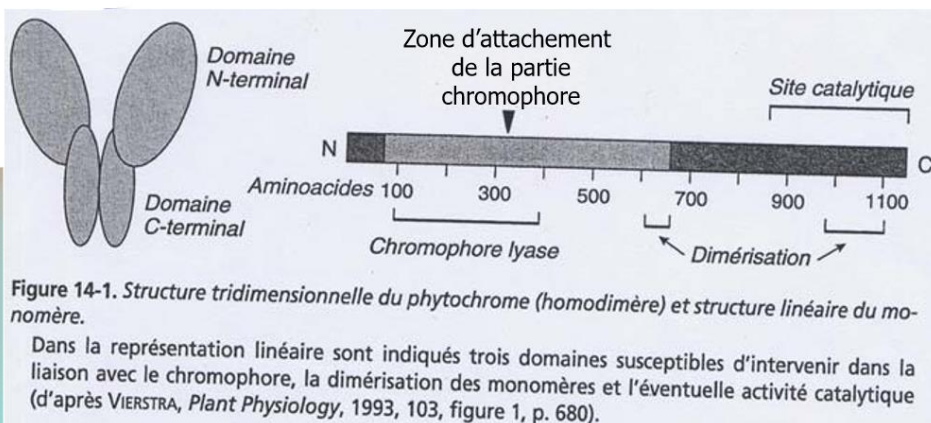
- **Expériences complémentaires**

- 666 nm (rouge claire) = floraison inhibé (Pr)
- 730 nm (rouge sombre) = floraison non inhibé (Pfr)
- Réception du signal au niveau d'une seule feuille, information transmise au méristème.

Conclus° : La plante mesure la durée de la nuit

Recept° signal au niveau d'une seule feuille adulte

Conclus° : il suffit d'une seule feuille pour recevoir

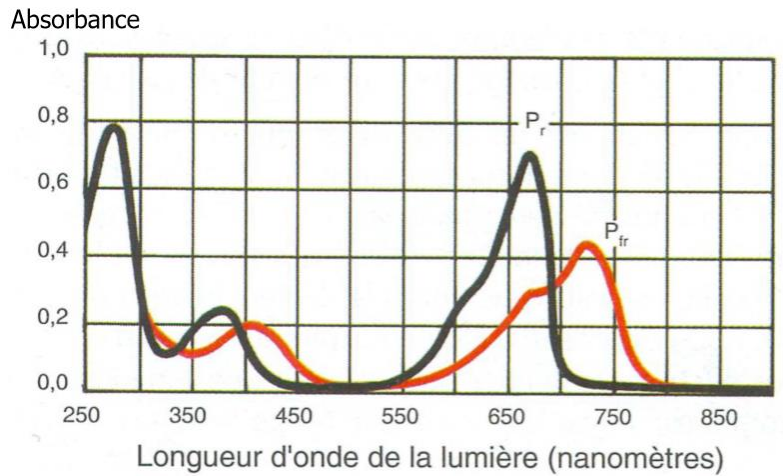


zone audio

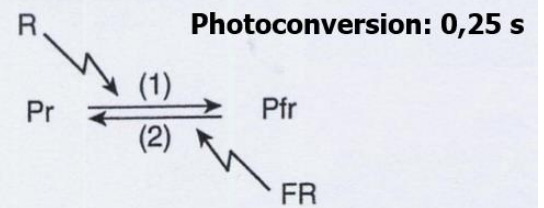
pigment photorécepteur

- **Phytochrome** : formé d'un **dimère** de protéine, sur la ligne on a la séquence d'un monomère : attachement de la **partie chromophore** (sur une cystéine par un pont di-sulfure) au niveau n-terminal **qui va capter la lumière rouge**. Sa **synthèse** se fait dans les **plastides** et lorsque la partie chromophore est synthétisée, elle est **transportée dans le cytosol** de la cellule où il y a les protéines → **attachement** qui va se réaliser chromophore-protéine. Il existe **2 types** de phytochromes :

- **Forme isomère Pr** absorbe dans le rouge clair à 660 nm. La lumière bleue peut être aussi absorbée.
- **Forme isomère Pfr** absorbe dans le rouge foncé à 730 nm, elle est aussi capable d'absorber dans une moindre mesure le rouge clair. La lumière bleue peut être aussi absorbée.



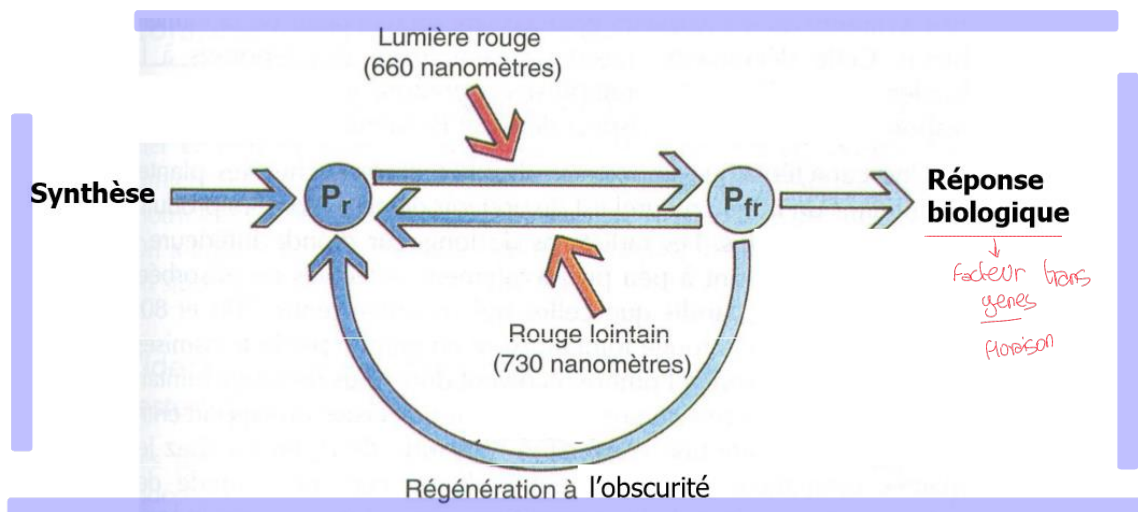
- Ces formes sont convertibles : **équilibre photostationnaire**. Si on éclaire par du 660 nm équilibre atteint où on a 15% de Pr et 85% de Pfr. Si on éclaire à 730 nm équilibre atteint où on a 3% de forme Pfr et 96% de forme Pr. La lumière bleue peut aussi créer des conversions de la forme Pfr à la forme Pr. Si on éclaire à la lumière blanche, on va obtenir un équilibre où on aura 80-90 % du phytochrome sous la forme Pfr et 10-20% sous la forme Pr. À l'**obscurité**, on va avoir la forme **Pfr** qui s'est **accumulé** pendant période lumineuse qui va être **régénéré en forme Pr**.



- Quelle est la **forme active** du phytochrome ?

geminat° → ↑ → floraison

- Le **phytochrome** intervient pour le passage du méristème végétatif à un méristème reproducteur mais aussi dans d'autres phénomènes comme **l'inhibition de l'élongation des tiges** et de **l'hypocotyle** à la **lumière**.
- **Exemple d'étude de mutant** : mutants observés, certains ont une réponse anormale à la lumière : allongement des hypocotyle/tiges qui continue malgré le passage à la lumière, il est apparu que ce sont les formes Pfr absentes dans cette plante et donc pas de réponse correct pour la plante. La forme **Pfr est la forme active** qui va déclencher une réponse dans la plante.



○ **Pendant alternance jour/nuit** = *Induct° floral*

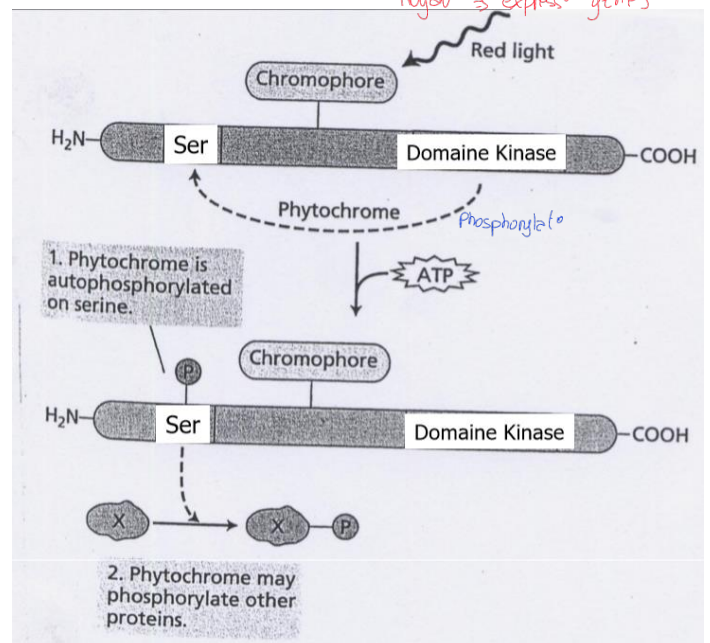
- Pour les **plantes de jours courts** : équilibre photostationnaire pendant **jour**, **maximum** du phytochrome sous forme **Pfr** et **minimum** **Pr**. Pendant la **nuit** **Pfr** **disparaît** au profit de la forme **Pr**. Si on place **flash lumineux** pendant la nuit (qui empêche floraison plante de jours courts) = conversion qui se fait rapidement de la forme **Pr** à la forme **Pfr**. Quand elle sera à l'obscurité on aura régénération de la forme **Pr**.
- Pour les **plantes de jours longs** : elles fleurissent dans condition de nuit courte, conversion partielle de forme **Pr**. Si on la place dans une nuit longue minimum sous forme **Pfr** et maximum sous forme **Pr** avec un flash lumineux, on remonte le taux de **Pfr** et à la fin de la nuit on se retrouve à un rapport **Pfr/Pr** qui peut conduire à la floraison de la plante.

- **Phytochrome** → famille multigénique, plusieurs gènes qui codent les protéines. Exemple : tomate et *Arabidopsis thaliana*.
- Chacun de ces **photochromes** ont des **rôles** un peu **différent**. On peut avoir des voies **inhibitrice** ou **activatrice** de la floraison. **Phytochrome A** active la floraison et **Phytochrome B** inhibe la floraison.
- **Perception et transduction du signal**

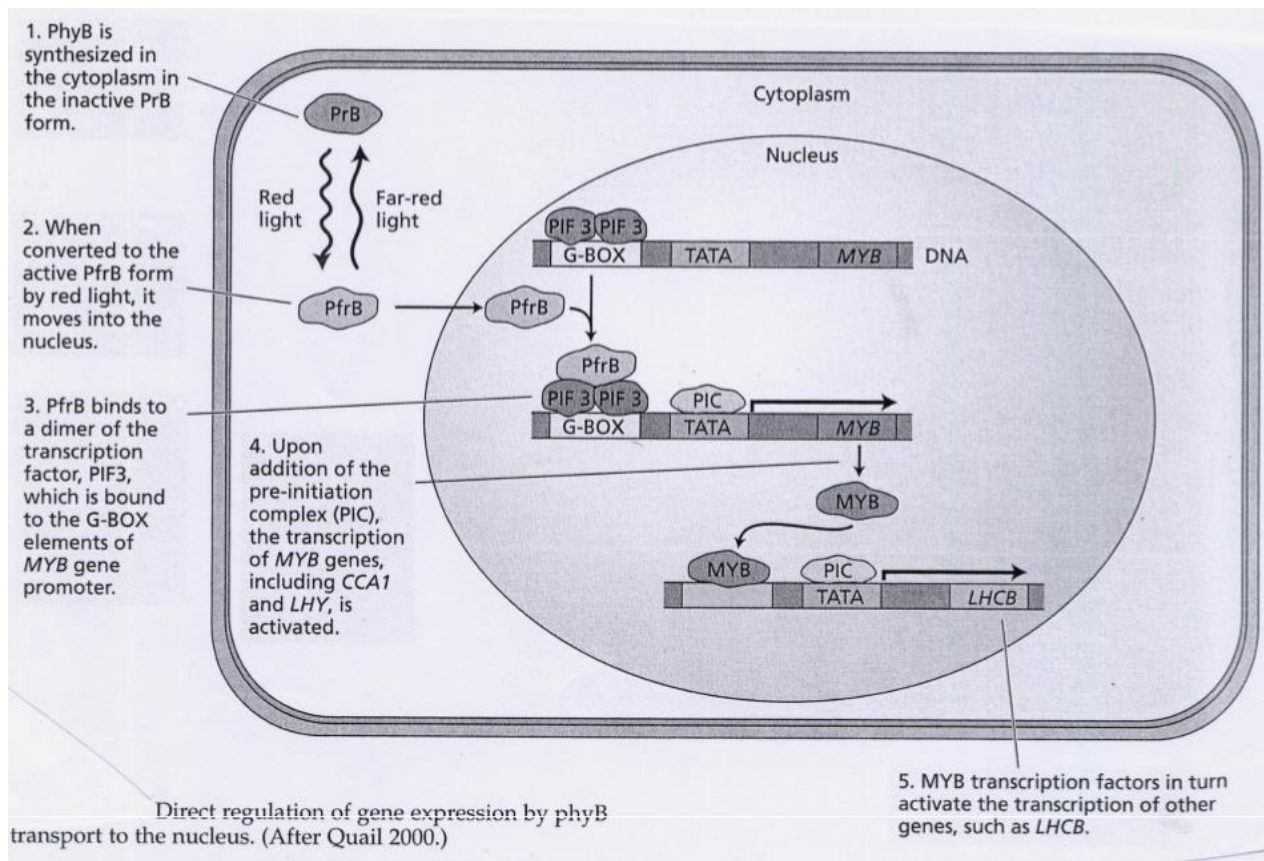
- **Obscurité** : localisation cytoplasmique pour le **phytochrome B** il est donc dans une **forme** inactive (**Pr**), il **reste** dans **cytoplasme** car il forme un complexe avec la protéine **Pks1**.

- **Lumière** : Forme **Pr** **convertie** en forme **Pfr**, ce qui engendre **activation** du domaine **C-terminal** du phytochrome → **autophosphorylation**. *(Kinasel)*
 noyau → express° gènes

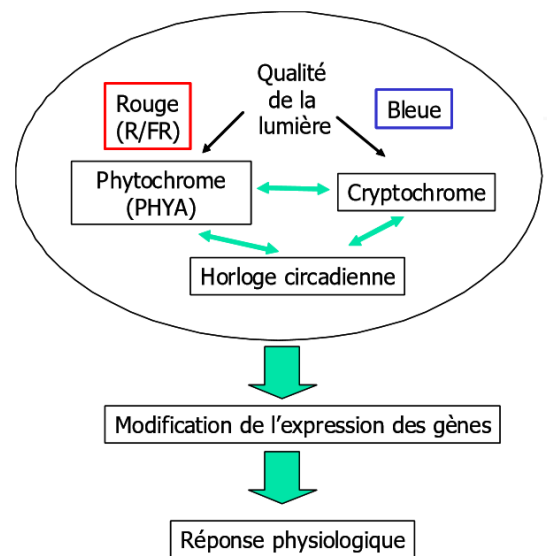
- Du côté C-terminal on a domaine kinase qui n'est pas actif tant que le phytochrome n'est pas sous sa forme **Pfr**. Quand le domaine kinase est activé phytochrome qui va s'auto phosphoryler. À partir de ce moment-là le phytochrome change de conformation, on va ainsi avoir un détachement de la protéine qui le bloqué (**Pks1**). Le phytochrome peut donc changer de compartiment. Quand la protéine **Pks1** se détache ce phytochrome peut rentrer dans le noyau (changement de localisation → localisation nucléaire) ce qui va entraîner modifications de l'expression de gènes.



- Exemple gène **LHCB** qui code une protéine du phytochrome. Représentation gène **MYB**, quand phytochrome pas dans noyau la transcription de ce gène est inhibé car la protéine **PIF 3** bloquent la transcription du gène. Quand phytochrome entre dans noyau il a affinité avec facteurs de transcription **PIF 3**, ce qui entraîne la levée de l'inhibition, le gène **MYB** pourra être transcrit, ARNm **MYB** va être exporté via pore nucléaire dans le cytosol de la cellule, il va être traduit, la protéine **MYB** va être synthétisée et elle va être re-transporté dans le noyau. Cette protéine **MYB** est un facteur de transcription qui va se fixer au niveau du promoteur et va activer la transcription du gène



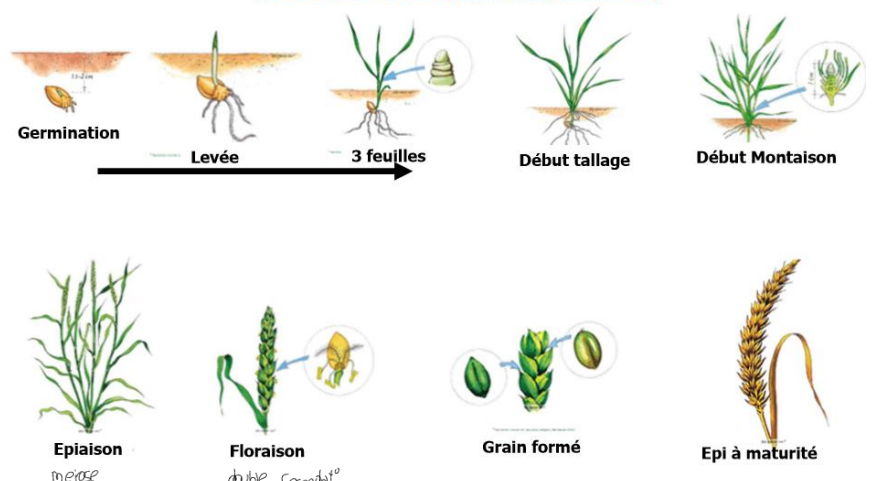
- Chez *Arabidopsis thaliana*, l'expression de 2500 gènes est modulée par une exposition longue à la lumière. 250 gènes sont régulés suite à 1h d'exposition à la lumière rouge.
- Les voies de signalisation sont contrôlées par les phytochromes : la perception de la lumière rouge et bleu entraîne la signalisation. La lumière bleu est captée par cryptochrome. Les gènes qui sont synthétisés et qui font partis d'un ensemble appelé **gènes de la réponse à la lumière**.



b- Vernalisation

Exemple du blé avec différents stades, différentes variété (de printemps et d'hiver). Si on utilise variété d'hiver et qu'on les sème au printemps on va avoir un développement végétatif mais floraison très difficile et perturbé. Il faut donc absolument une **période froide** pour que la plante puisse fleurir au printemps → besoin de froid **nécessaire pour la floraison** (vernalisation). Pour le blé d'hiver il faut température entre 3 et 10 degrés pendant 50 jours.

Stades de développement du blé



Plante bisannuelle : vernalisation qui s'effectue pendant l'hiver

Plante bisannuelle:

Année 1	vernalisation	Année 2
Phase végétative: Accumulation des réserves		Phase reproductrice: Mobilisation des réserves Montaison Floraison

On a différentes espèces :

- Espèces « **indifférentes** » : cycle qui n'inclue pas l'hiver (ou période de froid, ex: plantes printps)
- Espèces « **préférantes** » : floraison s'effectue mieux si il y a vernalisation mais floraison possible sans)
- Espèces à « **vernalisation obligatoire** » : besoin de période froide (pas floraison sans période froide) (ex: les plantes bisannuelles)

Caractéristiques de la vernalisation : selon les espèces, la température et la durée de froid peut varier de quelques jours à quelques semaines. L'olivier a un besoin de froid absolu pour fleurir. On a une action cumulative du froid, la plante garde en mémoire le fait qu'elle est déjà eu sa période froide même si elle est interrompue par du chaud. La dévernalisation est possible. La vernalisation peut être faite sur des graines imbibées, sur quelques feuilles développées ou sur une plante qui est au stade rosette. La vernalisation s'effectue bien avant le moment de la floraison. On peut avoir un état vernaliser durant 300 jours.

(stade dup, durée/T, act° cumulative du froid, stabilité, dévernalisation)

Perception du froid : se fait au niveau des méristèmes apicaux caulinares

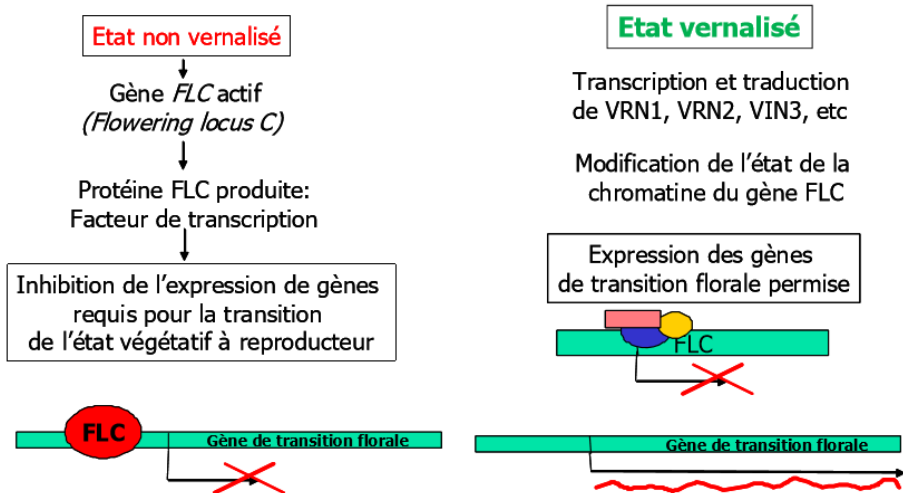
Mécanisme moléculaires

Modification épigénétique de la chromatine : ne peut pas être due aux mutations de l'ADN (FLC Flowering Locus C). La chromatine avec ses histones peut être plus ou moins condensé. Quand la chromatine est décondensée toute la machinerie de transcription des gènes peut avoir accès aux gènes → transcription qui pourra être effectué. Si l'inverse se produit, la machinerie de transcription ne pourra pas accéder aux gènes → Transcription inactivée. Modifications peuvent toucher ADN (exemple méthylation), modification des protéines des histones (acétylation, désacétylation). Plusieurs gènes qui interviennent dans cette mise en place de l'état vernalisé. On a différents mutants pour les gènes, la floraison est perturbée par la vernalisation :

- **FLC Flowering Locus C** : gène qui code pour un facteur de transcription, présent chez les plantes qui ont besoin de froid il est non fonctionnel sauf chez les variétés qui ont besoin de froid, FLC est transcrit quand la plante n'a pas subi de vernalisation, si il y a vernalisation, FLC va être inhibé, froid provoque modification de l'état de la chromatine au niveau de ce gène, chromatine condensé et l'expression ne peut pas s'effectuer.
- Quand on place la plante au froid, on a la présence de protéines VIN3 (Vernalizationinsensitive3), VRN1 et VRN vont s'exprimer, VIN 3 modifie structure de la chromatine, VRN et VRN1 peuvent se fixer à l'ADN et VRN 2 a un rôle de méthyl histone transférase (transfère un groupement méthyl au niveau des histones).

Quand on est dans état non vernalisé, gène FLC actif (schéma), facteur de transcription qui va se fixer au promoteur et qui va avoir inhibition des gènes de la transition florale.

Quand on est dans un état vernalisé : le froid agit, chromatine condensé, flc ne peut plus être transcrit et donc les gènes de transition florale vont être exprimés.



2- Les plantes « opportunistes » = espèce peu spécialisée capable de s'adapter à des conditions de vie variées (capable de modifier ces facteurs induit floral)

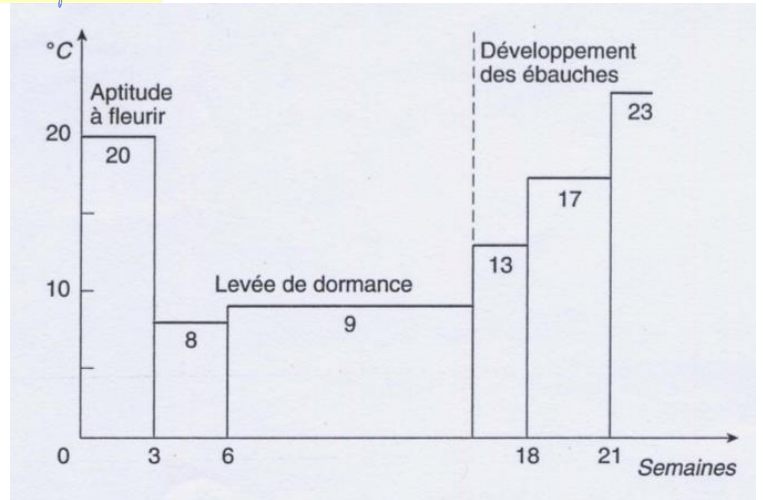
Possèdent un facteur primaire d'induction florale. La plupart des plantes peuvent, si on enlève le facteur primaire d'induction, se débrouiller avec d'autres conditions environnementales.

Par exemple, la *Melilotus* a besoin de vernalisation pour fleurir, si elle est placée dans des conditions arctiques c'est une plante annuelle de jour longs = adaptabilité par rapport aux conditions environnementales.

3- Thermoiduction et thermopériodisme

Tulipe : plante où l'aptitude à fleurir s'obtient avec des températures hautes. Le passage au froid permet la levée de dormance du bourgeon mais n'a pas de rapport avec l'aptitude à fleurir. Un thermopériodisme sera nécessaire pour le développement des ébauches déjà formées.

Après cette induction, quelque que soit le facteur, il y a des messages qui circulent dans la plante et apportent des informations de changement de développement aux méristèmes.



4- Les messagers de floraison

En 1984 : Lang lance l'hypothèse de substance anti-florigène.

En 1983 : Hypothèse trophique : d'après Sachs et Hackett le changement du méristème végétatif à reproducteur s'effectue après l'induction florale car il y avait apport de nutriment floral aux méristèmes.

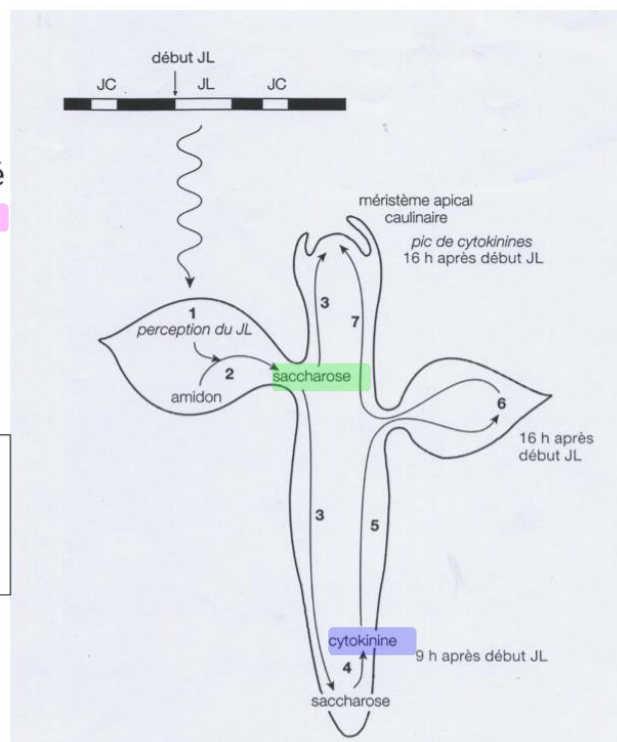
En 1992 : Hypothèse multifactorielle : d'après Bernier et al différents facteurs qui arrivent au niveau du méristème. Nombreuses substances qui circulent dans des concentrations bien précises.

On regarde les substances, si l'une d'entre elles n'a pas été induite et qu'on l'applique sur le méristème d'une plante non induite, on regarde si ça transmet l'induction.

Chez *Sinapis*, les analyses des changements dans le contenu des sèves du phloème et du xylème au cours de la transition florale ont révélé une boucle de signalisation complexe de pousse à racine à pousse impliquant à la fois des nutriments et des hormones.

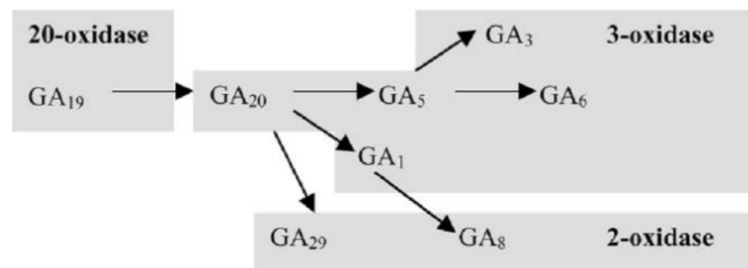
- CK et Suc stimulent toutes deux la division cellulaire.

Sinapis alba
Plante de Jour long
(induction par un seul jour long)



Sinapis alba : On a plusieurs substances qui circulent (messager) après induction par un seul jour long, changement au niveau des glucides qui vont venir circuler après induction. Dès la **perception du jour long** au niveau des **feuilles** → **hydrolyse de l'amidon** stocké au niveau de la feuille, les **glucides** vont être **utilisés** pour la **synthèse de saccharose**. Ce **saccharose** c'est la forme de glucide qui peut circuler dans **phloème (sève élaborée)**. Quand le saccharose est formé, **augmentation de saccharose** au **niveau du méristème** mais on va aussi voir qu'elle se fait au niveau des **racines**. Arrivé massive qui **déclenche l'exportation de cytokinine** à **travers les racines** (lieu de **synthèse**). Cytokinine exporté au niveau du **xylème (sève ascendante)**. Phytohormones (cytokinine) dont le métabolisme va être modifié et qui circulent dans la plante de manière plus importante. D'autres **types de cytokinine** vont être **synthétisés**. Ces **nouvelles cytokinine** vont être **exporté** vers le **méristème**. Ce qui **déclenche l'activation des mitoses (cycle cellulaire)** au **niveau du méristème**. Polyamines chaines carboné avec plusieurs groupements amine. Polyamine important pour déclencher la division cellulaire. Le calcium peut aussi être important pour certaines plantes. Hypothèse multifactorielle qui peut être retenu

Lolium temulentum L. « plante modèle » : un messager prépondérant qui semble être le seul messager important. Il a été **montré l'importance des gibbérellines comme messager** prépondérant pour le **changement de conformation du méristème**. Les gibbérellines sont des phytohormones, nombreuses dans les plantes. GA20 importante produit à partir de 20 oxidase, les **gibbérellines inactives par la 2 oxidase** et **active par la 3 oxidase**. Les actives peuvent déclencher réponses physiologiques dans la plante.



Après induction florale par un jour long : augmentation des gibbérellines actives au niveau du méristème. Cinétique des événements : **augmentation des gibbérellines 20 dans la feuille**. On va voir au niveau de la feuille **augmenter la gibbérelline 5** et ces gibbérellines vont partir des feuilles et arriver progressivement au niveau de l'apex. Quand le méristème est réorganisé pic maximale de gibbérelline 5 et 6. **Messageurs importants pour l'induction florale (5 et 6)**.

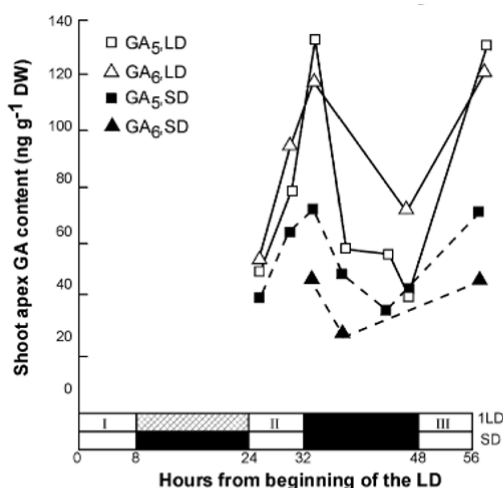


Fig. 1. Changes over time in the content of GA₅ (■, □) and GA₆ (▲, △) in shoot apices of *L. temulentum* in short days throughout (solid symbols) or following exposure to one long day (open symbols). All estimates from three experiments combined. The daily light and dark periods are shown as open and closed boxes, respectively, and the single LD exposure as a hatched box.

TABLE 1 Shoot apex GA content (ng GA g⁻¹ dry wt)*

	One LD	SD
GA ₅	131 ± 4	71 ± 5
GA ₆	120 ± 10	47 ± 10

(King et Evans, 2003, Annu Rev Plant Biol)

(King et al, 2003, Phytochemistry)

Pour la **grande majorité des plantes on peut retenir l'hypothèse multifactorielle**. Il n'y a **pas un seul type de messager**, pour d'autres plantes, les gibbérellines vont avoir un effet inhibiteur, jamais même signaux d'une espèce à l'autre.

Les substance d'une espèce de l'espèce effet activateur / inhibiteur
à l'autre

Divers messagers (phytohormones, sucres, protéines, ARN, ions, etc)

D- L'évocation florale

1- L'intégration des signaux

L'évocation florale est la re-organisation du méristème en fonction de ce programme. Le méristème végétatif se transforme en un méristème floral (marqué par la formation d'un bombement central). La morphologie du méristème change, dénotant sa transformation. Mais il n'y a pas de «fonctionnement» floral de ce méristème.

- C'est au cours de cette étape que sont induits certains gènes, dont l'expression sera à l'origine de l'initiation

Nombreux facteurs environnementaux qui peuvent jouer le rôle de facteur inducteur. Plusieurs voies de signalisation peuvent être enclenchées simultanément pour jouer le rôle d'induction florale. Plus d'un facteur peut agir en même temps dans la plante. Tout doit être intégré : intégration des différents signaux au niveau du méristème : modulation d'expression de 2 gènes intégrateurs, et au niveau de cette modulation on influencera ou pas la floraison.

chez Arabidopsis

- **FT** : gène qui code protéine qui va être synthétisé dans les feuilles, et on va voir cette protéine qui va être synthétisé qui va migrer jusqu'au méristème. florigène d'origine photopériodique
- **Soc1** : gène qui code facteur de transcription et qui est exprimé au niveau du méristème.

2- La réorganisation du méristème

SIGNAUX ENVIRONNEMENTAUX ET ENDOGENES



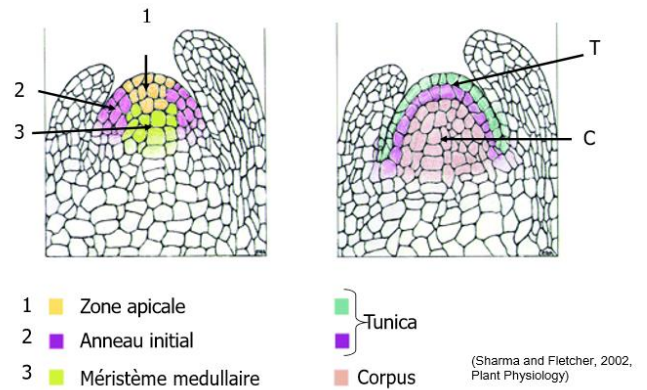
INTEGRATION DES SIGNAUX
Les voies de signalisation convergent vers les gènes intégrateurs



ACTIVATION DES GENES D'IDENTITE DES MERISTEMES REPRODUCTEURS



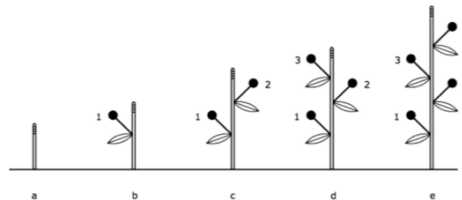
ACTIVATION DES GENES DE MORPHOGENESE FLORALE



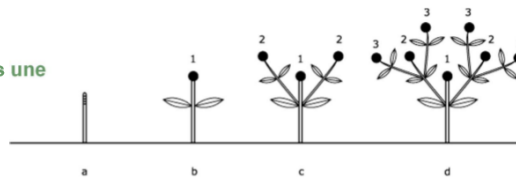
Gènes intégrateurs produisent protéines qui vont enclencher l'activation des gènes.

Méristème végétatif évolue soit en méristème floral soit en méristème inflorescentiel (forme un groupe de fleur). Inflorescence peut être soit indéfinie soit définie. Si méristème inflorescentiel reste inflorescent, on a une inflorescence indéfini mais si il évolue en méristème floral : défini.

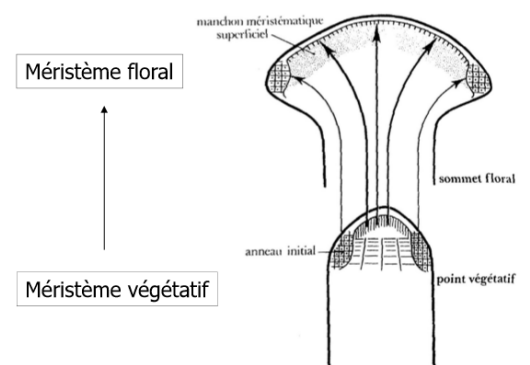
Formation des fleurs dans une inflorescence monopodiale (croissance indéfinie)



Formation des fleurs dans une inflorescence sympodiale (croissance définie)

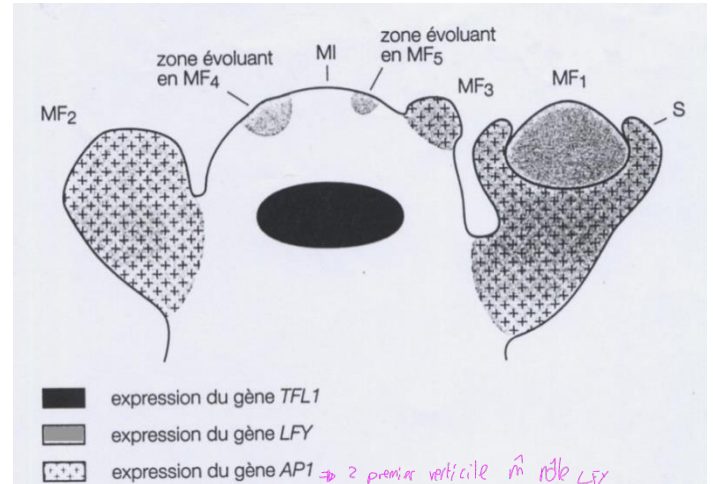
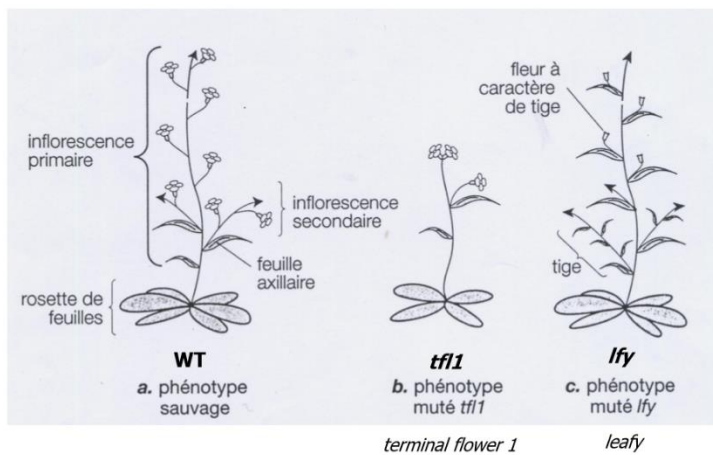


Au niveau cellulaire : zone centrale réactivé, division de mitose qui se remet en route rapide et importante. Ces cellules vont élargir cette zone, on va obtenir un sommet floral avec l'accumulation des cellules. Production de cellules qui sont en attente de différenciation et forme le manchon méristématique superficiel.



Les autres zones vont subir des changements également. L'anneau initial, zones plus actives sans renouvellement de cellule. Les derniers organes formés sont des bractées (formé par anneau initial)

Il faut que ces gènes d'identité soient amenés par quelque chose.



Arabidopsis thaliana : inflorescence de type indéfini, mutants observé pour le gène *TFL1*, gène qui est responsable de l'identité du méristème inflorescentiel mais toujours possibilité de fleur. *LFY* responsable de la mise en place des fleurs.

Gène *TFL1* s'exprime bien uniquement dans la zone inflorescentiel et les gènes *LFY* s'exprime bien dans le méristème floral.

III. LA MORPHOGENÈSE FLORALE

Apex d'*Arabidopsis thaliana* au mo, méristèmes au centre, inflorescence de type indéfinie. Les organes apparaissent de la périphérie vers le centre sépale → pétale → étamines → carpelle.

Inflorescence de type défini : produit de nombreux méristèmes floraux, méristème inflorescentiel → méristème floral.

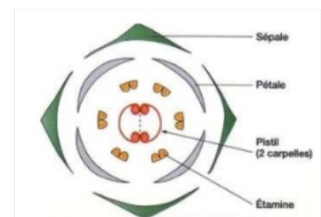
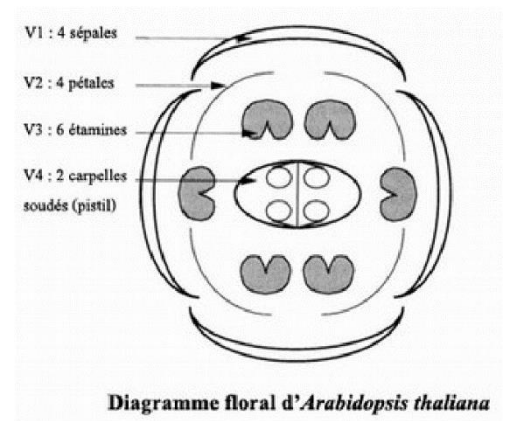
A- Plan d'organisation de la fleur (Nouveau audio)

TP

- Identité des organes floraux (pétale, étamine,...)
- Nombre de ces organes dans la fleur
- Phyllotaxie
- Axes, plans de symétrie

B- Le modèle ABC (Coen et meyerowitz, 1991)

- *Arabidopsis thaliana*
 - 4 verticilles (sépalés, pétales, étamines, carpelles)
 - Formule floral (WT): $4S+4P+6E+(2)C$
 - Mutations homéotiques (changement d'un organe en un autre) *Dép d'un organe et un lieu qu'on attende pas*
 - La mutation d'un gène homéotique produit un phénotype où des organes sont développés dans un emplacement anormal de l'organisme

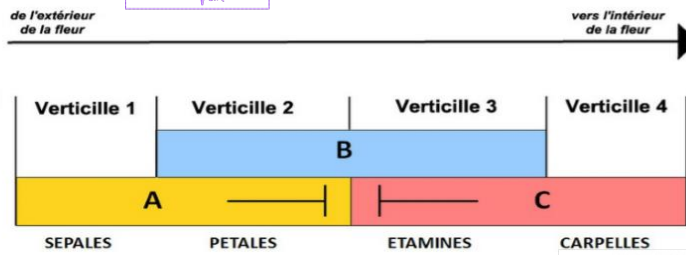


3 types de mutant : classe A (à la place des Sépale on a des étamines), B et C (sépale à la place de carpelle) en fonction des formules florales observées

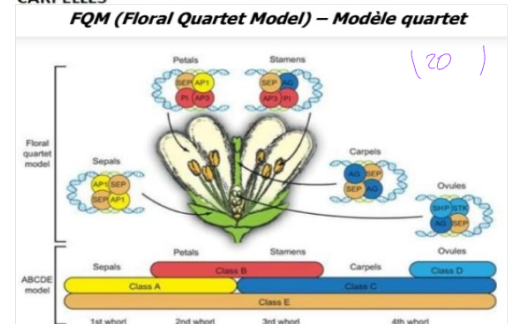
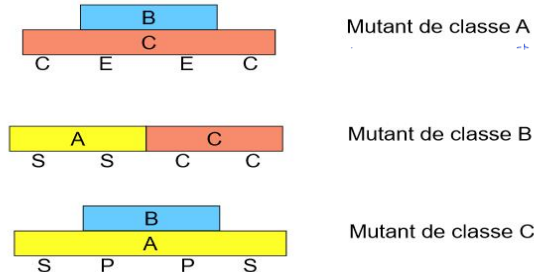
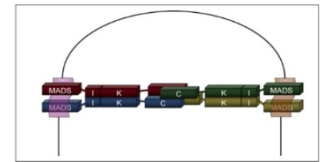
Organes formés par chaque verticille
 A+B = pétales
 B+C = étamines
 A = sépales
 C = carpelles

Modele ABC

	Phénotype	Verticilles			
		V1	V2	V3	V4
Fleur sauvage		Se 4	Pe 4	Et 6	Ca 2
Mutant Classe A		Ca 4	Et 4	Et 6	Ca 2
Mutant Classe B		Se 4	Se 4	Ca 6	Ca 2
Mutant Classe C		Se 4	Pe 4	Pe 6	Se 2



• FQM (Floral Quartet Model) – Modèle quartet
 (Un tétramère se lie à une boucle d'ADN) (Theissen, 2001)



Dans ce modèle, pour expliquer formation des sépales, **sépales se forment quand fonction A est fonctionnel**. Pour que les **pétales soit formé** au niveau des **verticilles 1 et 2** il faut que **B et A soit fonctionnelle**. **La fonction C toute seule pour les carpelles**. 2 traits qui indiquent que fonction **A et C sont antagoniste** : quand **A absente, fonction C s'exprime au niveau des verticilles**. La fonction **A empêche la fonction C de s'exprimer** à un **endroit donné**.

Mutant de classe B : **B non fonctionnelle**, plus que A et C, **pas de pétales ni d'étamines**.

Ce modèle a été révisé depuis 1991, il a été testé par des **plantes transgéniques**. Ces gènes codent tous des facteurs de transcriptions : APETA2 AGAMOUS PISTILLATA.

Plante transgénique dans lequel on **fait exprimer le modèle ABC**, il suffit d'**empiler les fonction pour avoir une fleur**. Toute fois on **obtient toujours une feuille** → il manque quelque chose dans le modèle pour exprimer l'identité des organes floraux. Il **manque le contexte dans lequel les gènes doivent s'exprimer**. A un autre niveau de la plante, ce modèle ne fonctionne pas. Etablissement de gène qui détermine le contexte et actionnent le modèle ABC. **nouveau modèle : ABCDE**. 2 nouvelles fonctions qui apparaissent : fonction **E** : gène responsable de l'établissement du contexte dans lequel les gènes des fonction ABC vont s'exprimer. LA fonction **D** pour expliquer la **formation des ovules**, que l'on retrouve **dans les carpelles**.

IV. DÉTERMINISME DU SEXE (21:10)

Hermaphrodite : organe mâle et femelle

Dioïques : un plant mâle et un plant femelle, séparation

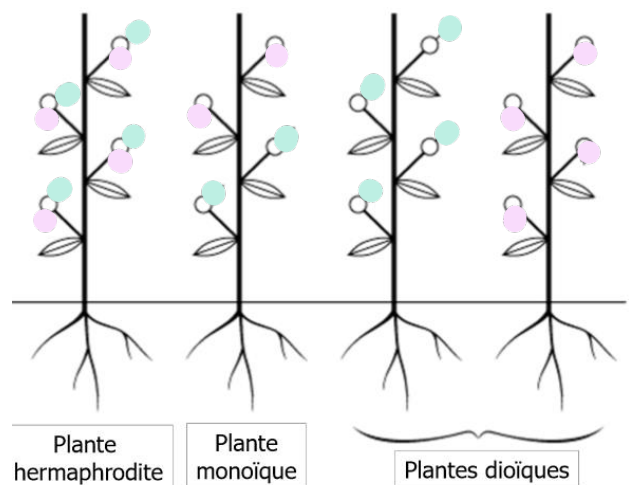
Monoïque : Séparation organe mâle et femelle mais portés par la même plante. Le **bas** de la plante est **mâle** et le **haut** est **femelle**. On parle de plante **polygame**

Les plantes hermaphrodite représentent 90% des espèces les autres 10% sont monoïque ou dioïque.

Un exemple de répartition des sexes dans une **population de frêne** : (triécie)

- 40% mâles
- 4% femelles
- 56% hermaphrodites

Deux mécanismes principaux conduisent au développement d'une **fleur unisexuée** : **Dioïques**
 ☐ Soit les fleurs sont **bisexuées à l'initiation** et deviennent **unisexuées** en raison de la fin du développement de l'androcée ou du gynécée (ex: Vitis vinifera),
 ☐ soit la **différenciation sexuelle se produit avant l'initiation des étamines et des carpelles** (



Le **déterminisme du sexe** c'est le processus qui aboutit à la séparation physique des structures à l'origine des gamètes mâles et femelles :

- soit sur des fleurs séparées sur une même plante
- soit sur des individus séparés

A- Les différents facteurs intervenant dans le déterminisme du sexe

Les facteurs génétiques expliquent le déterminisme du sexe :

- Les espèces avec **chromosomes sexuels** : **uniquement** des espèces **dioïques**
 - « **Chromosome Y actif** », responsable du développement de l'organe mâle : l'étamine.
 - **Rapport N chromosomes X/N autosomes** qui va déterminer mâle ou femelle, fonctionnement qui est rencontrée chez la drosophile. (exemple : oseille, femelle 12 autosomes et 2X, mâle 12 autosomes un X, un Y1 et un Y2). Y nécessaire pour que le pollen qui se développe dans les anthères de l'étamine soit fertile mais ça n'a rien avoir avec le développement de l'étamine.
- Les espèces **sans chromosomes sexuel** : dû à des gènes particuliers, portés par des autosomes. Le melon **plante monoïque** : deux gènes responsables du sexe. Contrôle du déterminisme du sexe grâce à deux gènes dans l'espace et dans le temps de l'expression de ces gènes.

Contrôle du déterminisme du sexe par au moins 2 gènes:
A (andromonoecious) et G (gynoecious)

Au début du développement on a toujours une **fleur asexuée** et c'est au **cours du développement** on a une **fleur unisexuée**.

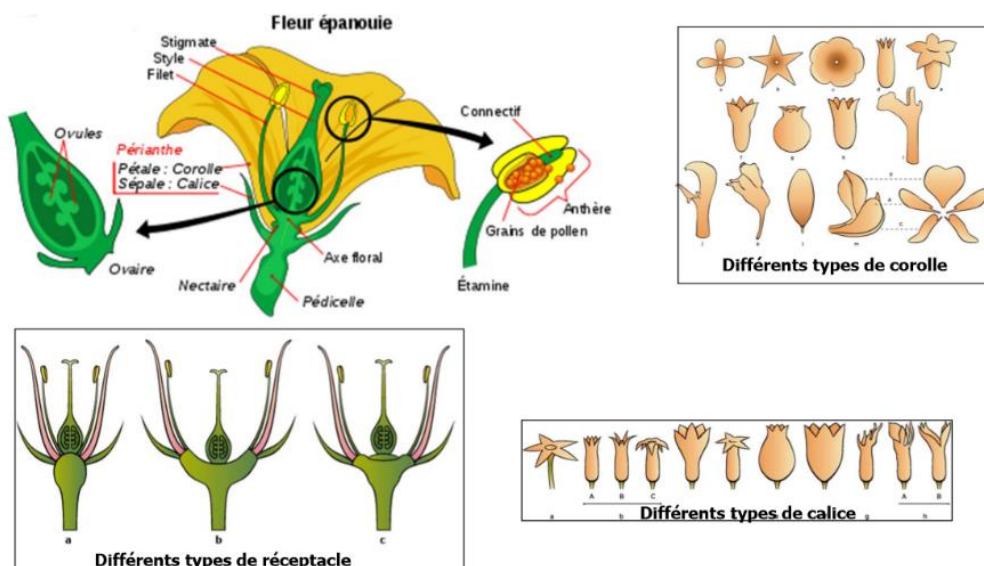
Autres facteurs :

- **Environnementaux** : on peut réaliser avortement de certains organes et réaliser croisement avec fleur unisexuée. Ce sont les conditions environnementales lors du développement, qui conduiront à l'obtention d'une plante « mâle fertile » ou « mâle stérile ».
- **Phytohormones** : conduit à l'avortement de certains organes, chez la **tomate gibbérelline** provoque avortement des organes femelles et chez le **maïs** l'avortement des organes mâles, différents rôles peuvent être joué sur le développement du déterminisme.
- **Température**

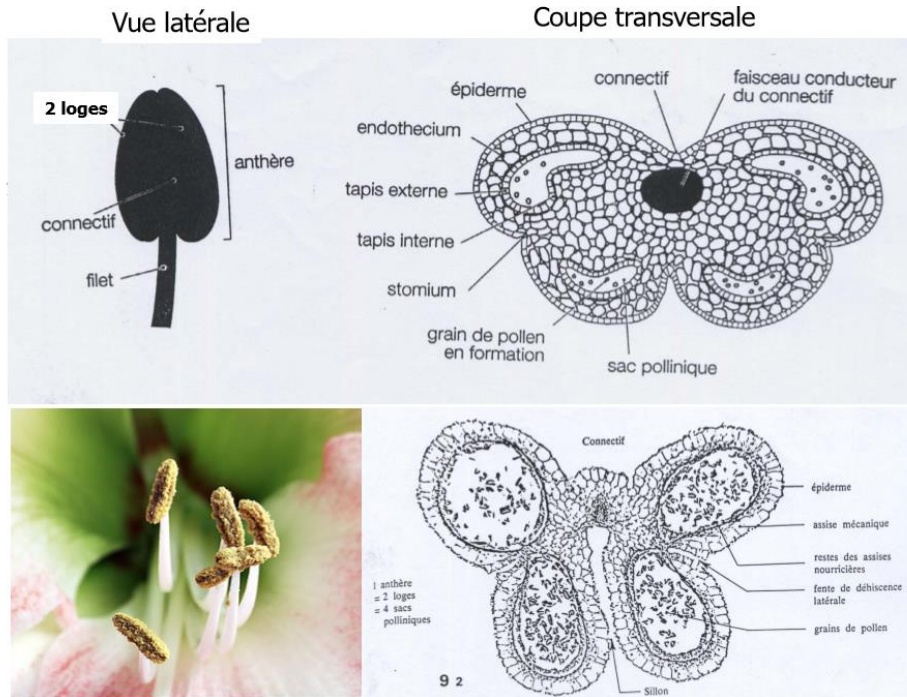
Ex (T): Lignée maintenue en conditions froides (fertilité mâle)
Stérilité mâle en conditions chaudes

V. LES ORGANES REPRODUCTEURS, LES GAMÉTOPHYTES, LES GAMÈTES

A- Côté mâle



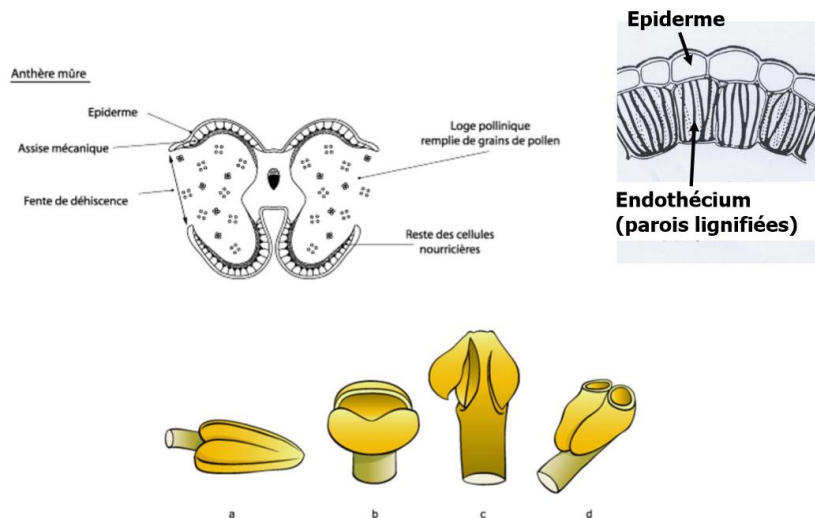
- ❖ L'ensemble des pétales forme la corolle.
- ❖ L'ensemble des étamines est l'androcée.
- ❖ L'organe mâle : l'étamine
- ❖ Le filet porte l'anthère et dans l'anthère : les sacs polliniques = 4 en tout > 2 par loge
- ❖ Dans les sacs polliniques: le pollen (gamétophyte mâle)
- ❖ Dans le pollen : les 2 gamètes mâles



Les étamines, les anthères

Chaque loge pollinique contient 2 sacs polliniques, c'est là que le pollen va se former. Vers l'extérieur on a l'épiderme, une assise mécanique ou endothécium. Sous ce dernier on trouve différentes assises : l'assise transitoire (tapis interne) et le tapis externe. Chacune de ces assises a un rôle particulier.

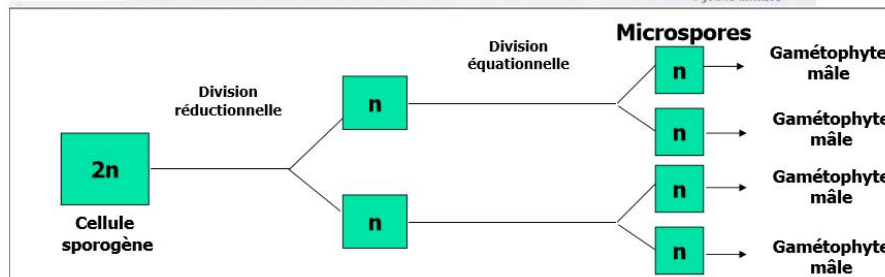
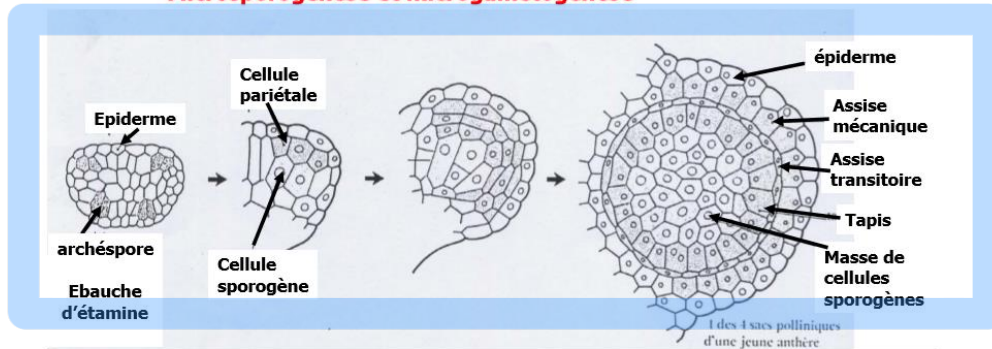
A la fin du développement de l'anthère les cellules de l'endothécium vont se lignifier. Apporte une résistance mécanique à cette assise. Il ne peut pas se déchirer car les parois sont solides. La lignification n'a pas lieu partout. Au niveau du stomium (fente de déhiscence) les cellules ne sont pas lignifiées. À la fin du développement, l'anthère se déshydrate → déchirement au niveau des fentes de déhiscence



Déhiscence des anthères

a: loculicide longitudinale, b: loculicide transversale, c: valvaire, d: poricide

Microsporogénèse et microgamétogénèse



Assise cellulaire présente au début du développement de l'anthère (assise transitoire et tapis sont présentes). Au début, ces couches cellulaires produisent des métabolites qui vont servir à la nutrition de la microspore en formation. À la fin elles vont dégénérer et les métabolites vont former des couches au niveau du grain de pollen en formation

Au niveau de l'anthère en formation, cellules particulières qui s'individualise : archéospore. Cellule pariétal et sporogène sont des cellules diploïdes obtenus par mitose, ces cellules vont s'organiser dans les différentes assises de l'anthère

Cellules pariétales forment l'assise mécanique, transitoire et le tapis)

Sporogène subit des mitoses massif au niveau de chaque sac pollinique, ensuite méiose et obtention de 4 microspores haploïdes, chacune des microspores évoluent en grain de pollen

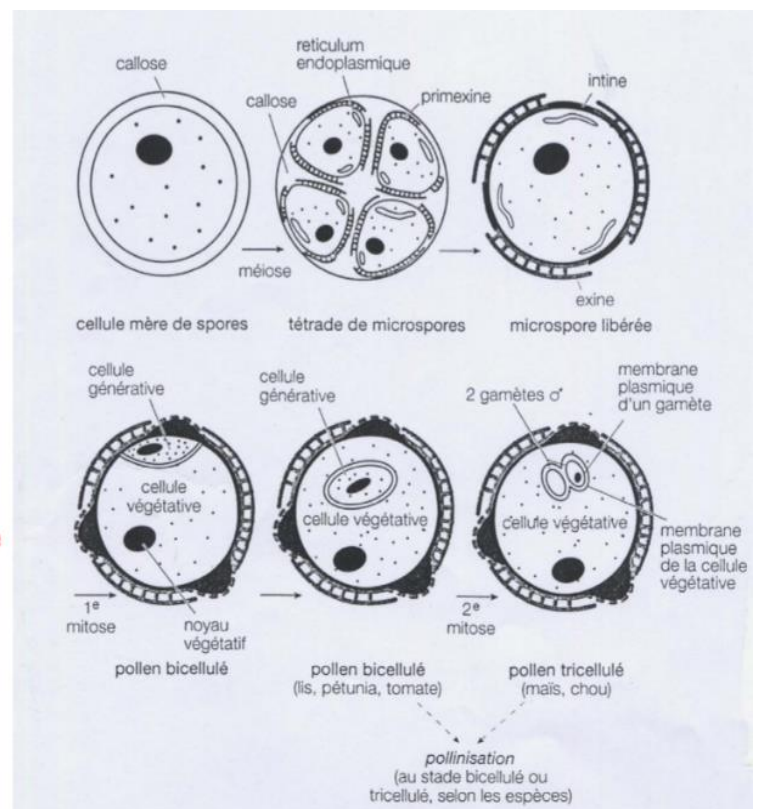
Microsporogénèse : va jusqu'à l'obtention d'une microspore.

Micro gamétogénèse : De la formation de microspore à grain de pollen.

Cellule pariétale (forme l'assise mécanique, transitoire et le tapis) et sporogène (subit des mitoses, massif au niveau de chaque sac pollinique, ensuite méiose et obtention de 4 microspores haploïdes, chacune des microspores évolue en grain de pollen) sont des cellules diploïdes obtenus par mitose.

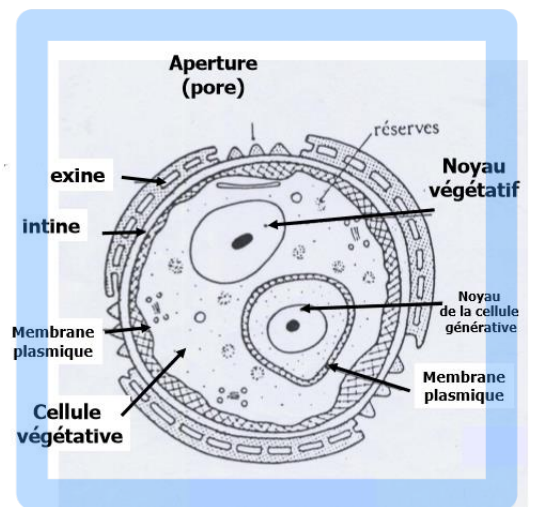
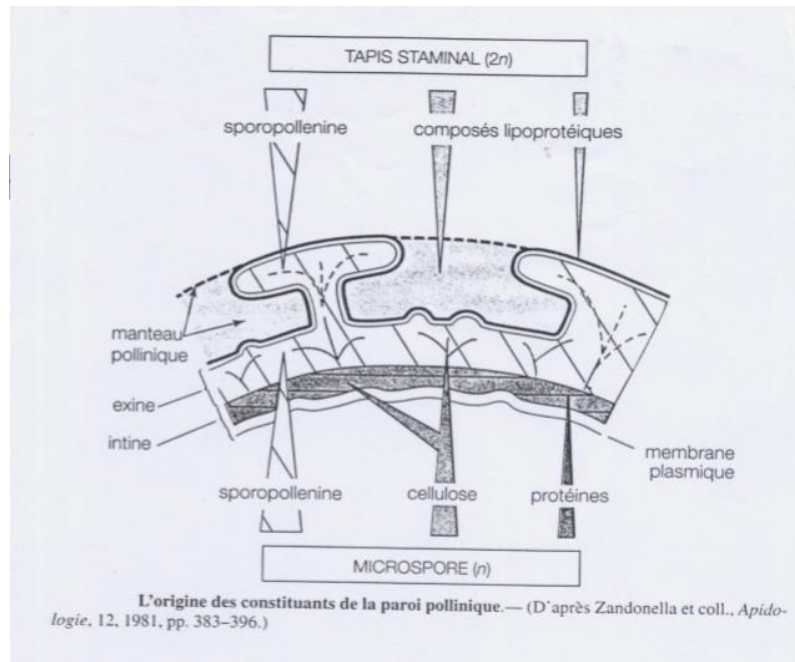
Microsporogénèse

Microgamétogénèse



Cellule de callose qui insère les cellules sporogène qui les empêche d'être libérées. Cellule sporogène subit méiose et on obtient 4 microspores. Les 4 microspores ne sont pas individualisées : stade tétrade de microspores. La paroi de ces microspores commence à se former : la primexine. Une enzyme secrété par le tapis va dégrader cette callose et chaque microspore pourquoi se développer. La paroi la plus externe est l'exine et interrompue au niveau des futurs portes polliniques, et une paroi interne qui se nomme intine. L'intine a une autre nature, formé à partir de cellulose. La microspore libéré : obtention de deux cellules, puis hydratation de la cellule générative (qui a sa mb plasmique) au sein d'une cellule végétative (qui a sa mb plasmique).

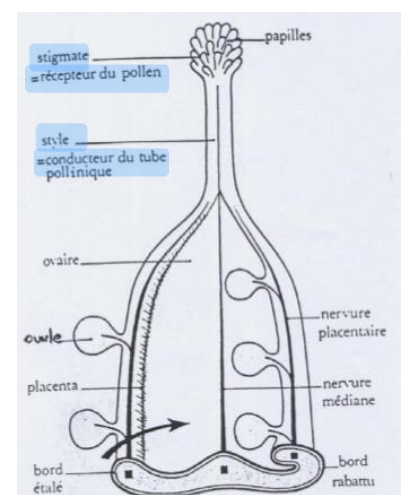
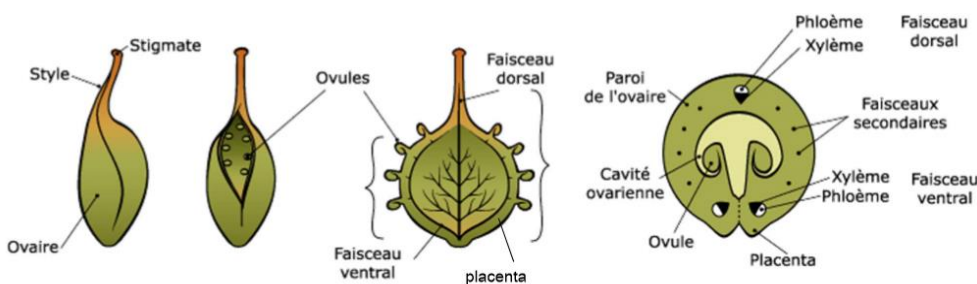
Cellule végétative qui a sa membrane plasmique et son noyau, à l'intérieur on a une cellule générative qui va subir division de mitose et on obtiendra 2 gamètes mâles. Cette deuxième division de mitose a lieu à différents moments selon les espèces dans l'anthere de la plante. La formation du grain de pollen et développement de l'anthere ont lieu en même temps.



Les composants qui forment ces tissus externes (exine et intine) ont différentes origines : des métabolites qui proviennent de la microspore et d'autres qui proviennent du tapis. Au niveau des creux, les métabolites du tapis s'accumulent et forment le manteau pollinique (uniquement expression du génome). Les composés de l'intine proviennent de l'expression de la microspore (génome haploïde). Formation d'une unité germinale mâle insérée dans un lobe du noyau : prolongement dans le noyau et lien entre les deux gamètes. Plasmodesme entre les gamètes pour former des échanges facilement. Assemblage physique pour s'assurer que la double fécondation ait bien lieu.

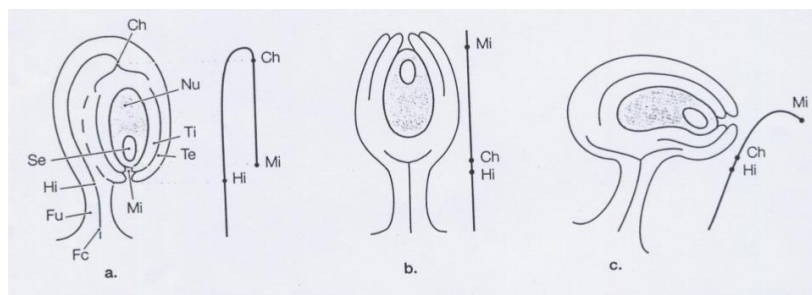
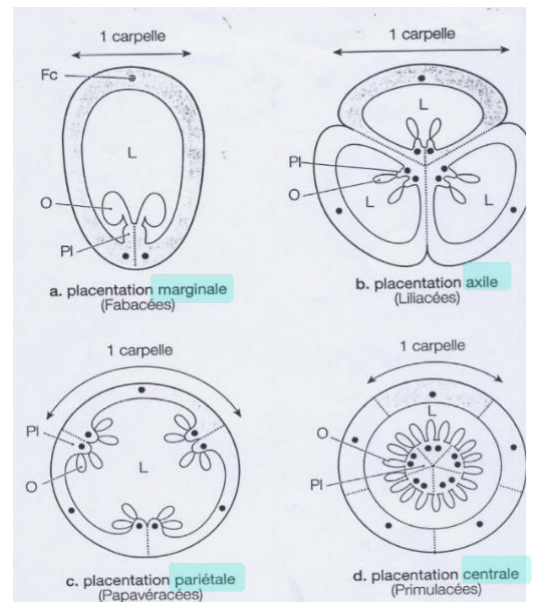
Selon mode de pollinisation on a des pollens différents, pour ceux transportés par le vent ils sont lisses et pour ceux transportés par les insectes on a des ornements.

B- Coté femelle



- L'organe : le carpelle *→ ensb = gynécée*
- Dans l'ovaire : les ovules
- Dans l'ovule : le sac embryonnaire (gamétophyte femelle)
- Dans le sac embryonnaire : les 2 gamètes femelles

Partie renflée sur le bas avec tout en haut le stigmate qui est la partie réceptrice du pollen. Les styles ont soit un canal soit un style plein, le tube pollinique passe donc entre les cellules dans le dernier cas. Le pistil peut avoir un ou plusieurs carpelles. Le carpelle peut avoir plusieurs carpelles soudés ou non entre eux. Les ovules s'insèrent au niveau de la zone qui s'appelle **placenta**. Le côté micropyle contient les téguments de l'ovule ne sont pas renfermés. Ramification des faisceaux conducteurs. Côté chalaze. L'ovule est entouré de tissus de nucelle (tissus de réserve).

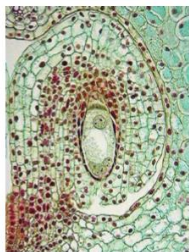


a : anatrophe

Différents types d'ovule:

b: orthotrophe

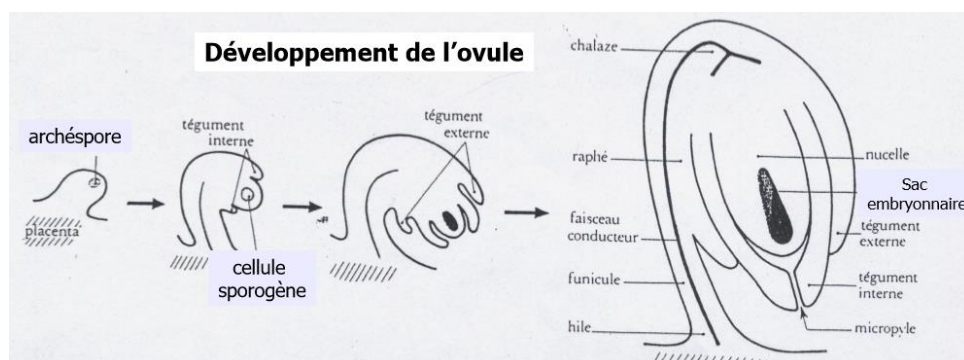
c: campylotrophe

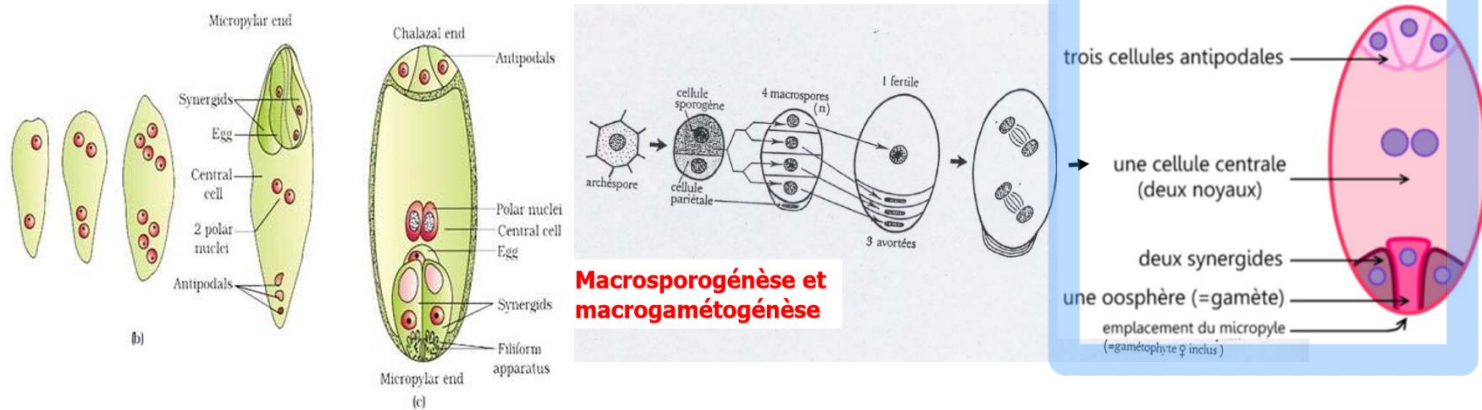


Ch: chalaze désigne le point sur la tunique interne d'une graine, là où la nourriture lui parvient
Nu: nucelle
Fc: faisceau conducteur
Fu: funicule
Mi: micropyle
Se: sac embryonnaire
Ti: tégument interne
Te: tégument externe

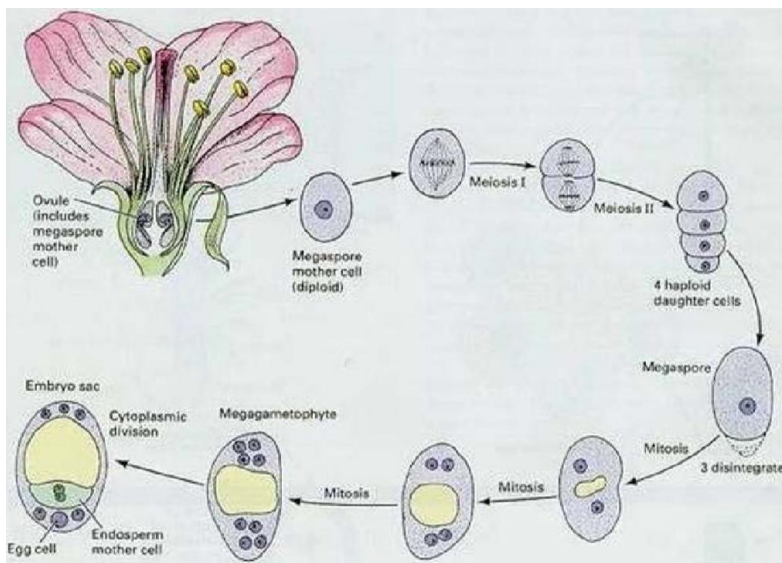
Au niveau du placenta il va y avoir un **bourgeonnement cellulaire**, ces cellules en se divisant vont se diviser : **apparition des téguments internes et externes**. Ils ne se referment pas sur eux-mêmes espace tégument ménagé. Individualisation d'un **archéospore** qui va **subir une mitose** (Une cellule sporogène et une pariétale qui va **dégénérer**) puis une **méiose** de cette cellule sporogène forme **4 macrospores haploïdes** (dont 3 dégénèrent). Ce **noyau va subir des divisions** et **formera alors le sac embryonnaire**.

Le **sac embryonnaire** possède **3 antipodes** du côté chalaze, à la base on a **une grande cellule centrale (1er gamète)** qui contient **2 noyaux**, ainsi que **l'oosphère** (2eme gamète) et **2 synergides**. Il n'y a pas toujours 3 cellules antipodes, c'est très variable. Dans **certains cas**, il y a des **invaginations de la membrane plasmique** qui permet des **échanges avec l'ovule** : cette zone est dite **phylliformes**.





Unité **germinale femelle** : Ce n'est pas l'ensemble du sac embryonnaire mais juste : **cellule centrale, oosphère et des deux synergides**. Il y a des membranes plasmiques de ces cellules ont des communications sans barrières de parois.



VI- STRATÉGIES DE REPRODUCTION SEXUÉE

A. La pollinisation (New audio 3 mars)

Dépend des **caractères floraux** (description d'une fleur unique : sa taille, structure, la couleur des pétales, odeurs), **ressources nutritives pour les insectes** (quantité de pollen, présence de nectar), **degrés d'herkogamie** (décrit si l'on a des obstacles physiques entre les organes mâles et femelles qui empêchent l'autofécondation), **degrés dichogamie** (maturation différé entre les organes mâles et femelles, décalage de maturation) et de l'**affichage floral** (affichage global au niveau de la plante : nombre de fleurs ouverte en même temps sur la plante, structure des inflorescences). En fonction de ces caractères on aura divers vecteurs de pollinisation.

• Zoogamie :

- **Entomogamie (par les insectes)** : 80% des plantes à fleur nécessite une pollinisation grâce aux insectes. Les hyménoptères (dont l'abeille), les lépidoptère, les coléoptères, et les diptères. 9,5 % de la valeur de la production mondiale de nourriture.

Deux stratégies :

ogénéraliste : Leurs **caractères floraux et affichage floral** attire tout un ensemble d'insectes. Exemple : Production de **nectar** grâce à des nectaires.

certains st toxique et repase insectes →
certains ont m composi^o m si st ≠ familles cor st visiter par les m pollinisateurs

oSpécialiste : attire un type d'insecte particulier. Exemple : Emission des odeurs spécifiques ; le pollen est en profondeur, seul les papillons avec leurs trompes pourront atteindre le pollen ; pour l'arum, découplage

source sucre
nectar, pollen
source protéine

entre le transfert d'électrons et production d'ATP, on aura émission de chaleur qui décuple l'émission de l'odeur. L'ensemble de l'anthère peut se libérer dans un sac et adhérer à la tête de l'insecte.

Protogynie $\Rightarrow$ maturatⁿ ♀ avant organe ♂ au niveau d'une fleur (ex : arum)

- **Ornithogamie** (par les oiseaux) : par exemple : les **colibris**.

- **Chiropterogamie** (par les chauves-souris)

La **production de nectar** se fait au **niveau des nectaires**, essentiellement à partir de la sève élaborée.

• **Hydrogamie** :

Le vecteur de pollinisation est l'eau. Dans la majorité des cas les **organes mâles et femelles sont au dessus de l'eau pour les plantes aquatiques**. Exemple : l'espèce lacustre : l'organe mâle se met à flotter au dessus de l'eau et arrive à proximité de la fleur femelle. Les étamines tombent sur les stigmates.

Espèce marine : Pollen filamenteux long, ne possédant pas d'exine le pollen est mouillable. Les fleurs femelles accrochent les grains de pollen qui nagent à proximité.

• **Anémogamie** : Pollinisation par le vent des plantes qui ont des pétales, et sépales très restreints.

Stratégie de reproduction : Autogamie et Allogamie. On a soit **autofécondation**, **fécondation** au sein de la **même fleur**, soit on a une **fécondation croisée** sur une plante de phénotype différent. On a beaucoup d'adaptation et de mécanisme empêche l'autofécondation et favorise la fécondation croisée. On va tendre vers un hétérozygote.

I Autogamie et allogamie

Ce qui favorise l'**autogamie** :

$\hookrightarrow$ Autofécondatⁿ

$\hookrightarrow$ fécondatⁿ croisée

- **homogamie** (contraire de la dichogamie) = les **organes sont matures en même temps**.

- La **cléistogamie** : les fleurs restent fermés

2 types

Directe $\Rightarrow$ Hermaphrodites

Indirecte (Geitonogamie) $\Rightarrow$ Hermaphrodites + monoïques

- **Fleurs hermaphrodites – proximité anthères et des stigmates**. Exemple : la violette.

Ce qui favorise l'**allogamie** :

- **Eloignement spatial entre les organes sexuels**.

- **Toutes les fleurs sont unisexuées** : Diocée et monocée.

- Chez les hermaphrodites : **herchogamie** (obstacle entre les organes mâles et femelles).

- **Eloignement temporel** : dichogamie :

o **Protandrie** : organes mâles mûrent en premier

o **Protogynie** : les organes femelles sont mûrent avant les organes mâles.

- Auto **incompatibilités** :

Mécanisme anatomiques

o **hétéromorphes** (hétérostylie) : fleurs de morphologie différentes qui doivent être croisées. Des différences de taille des grains de pollen, taille des papilles stigmatiques interdisent l'autofécondation.

Longistylée $\square$ Style long : stigmates au dessus des anthères.

Brévisylée ? Style court : stigmate sous les anthères. *Mécanisme génétique*

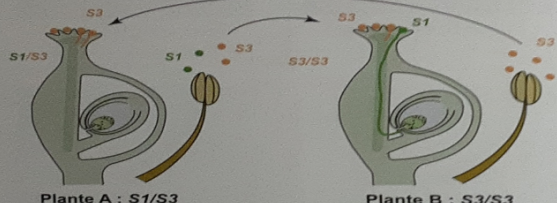
oHomomorphes : fécondation croisée obligatoire mais pas de morphologie différentes. Ce sont des mécanismes génétiques qui contrôlent ça. Le tapis de l'anthère est diploïde, c'est le sporophyte. Les protéines S1 et S2 seront synthétisés via ce tapis. Allèles S1 et S2.

FICHE 120 Les mécanismes génétiques d'autoincompatibilité

La germination du grain de pollen des Angiospermes peut être contrôlée par des phénomènes d'incompatibilité génétique, sous le contrôle d'un locus *S* multiallélique. Les plantes hétérozygotes disposent, pour le gène *S*, de deux allèles. Le pollen, gamétophyte mâle haploïde, n'en contient qu'un seul. S'il y a concordance entre les allèles du grain de pollen et ceux du stigmate, l'auto-fécondation est impossible. Seules des plantes éloignées génétiquement peuvent s'interféconder. Il existe deux types d'incompatibilité : gamétophytique et sporophytique.

► **Auto-incompatibilité gamétophytique**

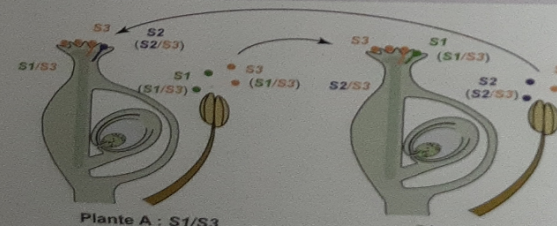
Lorsque le grain de pollen se dépose sur un stigmate et que l'allèle *S* qu'il porte est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire, la croissance du tube pollinique est interrompue et la fécondation ne peut avoir lieu.



La plante A (*S1/S3*) produit des grains de pollen *S1* ou *S3*. Seul le pollen *S1* peut germer puis féconder la plante B (*S3/S3*). En revanche, la plante B (*S3/S3*) ne produit que des grains de pollen *S3*. Ils ne peuvent germer sur la plante A (*S1/S3*) car l'ovaire diploïde contient l'allèle *S3*.

► **Auto-incompatibilité sporophytique**

Le pollen ne contient qu'un des allèles *S* de la plante mais une partie des composants de sa paroi a été synthétisée par les cellules nourricières du pollen (le tapis) au cours de sa formation. Ces cellules étaient diploïdes et contenaient donc les deux allèles. Lors du dépôt d'un grain de pollen sur un stigmate, si l'un des deux allèles de la plante diploïde qui a généré le pollen est le même que l'un des deux allèles de l'ovaire, la germination du tube pollinique est bloquée et la fécondation est impossible.



La plante A (*S1/S3*) produit des grains de pollen *S1* ou *S3* qui contiennent dans leur paroi des produits synthétisés par le tapis diploïde (*S1/S3*). Aucun grain de pollen ne peut germer sur la plante B (*S2/S3*) car tous contiennent des produits d'origine *S3*. Il en est de même pour le croisement inverse.

Autres stratégies

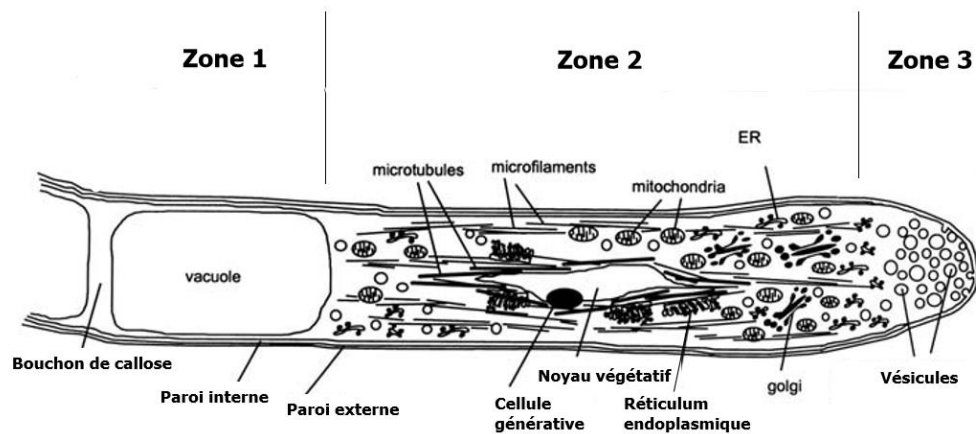
Stérilités mâles : pollen qui ne se forme pas ou alors il n'est pas viable, les anthères peuvent ne pas être déhiscentes, ou étamine imparfaite → causes environnementales ou génétiques.

VII- DOUBLE FÉCONDATION

A- Fécondation par siphonogamie

- Pas de sollicitation du milieu aquatique
- Germination du pollen
- Formation d'un tube pollinique ou siphon qui achemine le contenu de la cellule végétative vers l'ovule, le sac embryonnaire

La germination du pollen : l'adhésion des grains de pollens sur le stigmate. Certains stigmates sont adhérents et adhèrent le pollen. Contact entre grain de pollen et surface stigmatique. Différence de pression hydrostatique, l'eau passe des stigmates au pollen par des aquaporines. L'intine va salir des pollens et les tissus du style vont dialoguer : le tube continue à croître dans les tissus du style. Le tube progresse dans le canal ou alors entre les espaces cellulaires. Les enzymes du pollen dégradent les papilles stigmatiques. Attirés par les substances de l'ovule progression mécanique dans le tube pollinique, pour les dernières étapes, c'est vraiment l'ovule qui attire le tube.



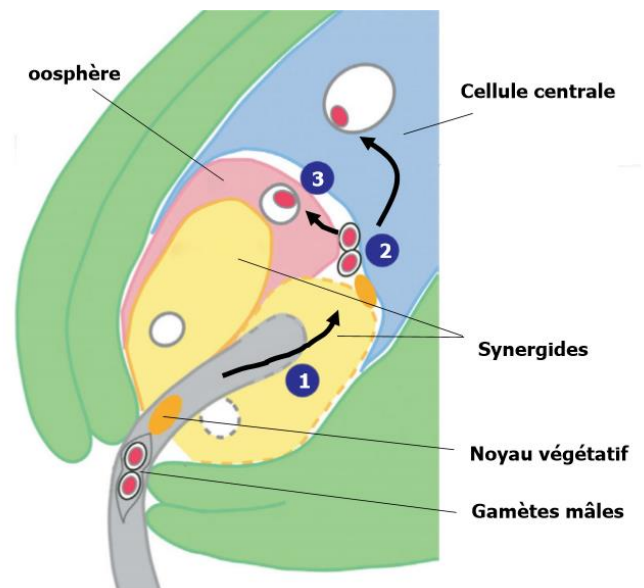
Il y a des bouchons de callose afin de boucher l'extrémité du tube pollinique. Les polymères du glucose forment ce bouchon. Le contrôle de la pression osmotique se fait plus facilement

Zone 1 : zone vacuolisée

Zone 2 : unité germinale mâle avec cellule générative et noyau végétatif : cellule bi-cellulé.

Zone 3 : paroi très fine, le tube pollinique croît à partir de son extrémité, croît grâce au système endomembranaire.

Quand le tube pollinique arrive à proximité de l'ovule, il pénètre du côté micropyle et il y a cinétique d'événements. Décharge du tube qui se fait dans synergide (en 9 seconde donc rapide), tube pollinique éclate dans synergide et contenu du tube va être libéré : les gamètes mâles sont vers l'ovule. Ensuite dégénérescence de la synergide et du noyau végétatif. Les gamètes vont venir se positionner dans une zone où il n'y a pas de paroi entre les différentes cellules. Ils vont rester pendant 7 à 8 minutes dans cette zone : phase d'immobilité. Après cette phase on a plasmogamie et fusio gamie : un gamète male fusionne avec cellule centrale et l'autre avec oosphère et on aura fusion des noyaux et cytoplasme. On obtiendra ainsi un zygote 2n et un zygote 3n.



Calbomen

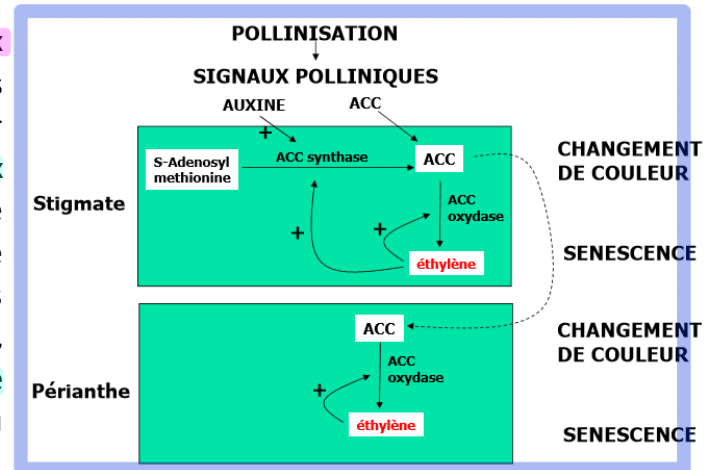
VIII- APRÈS DOUBLE FÉCONDATION

A- La modification des pièces florales

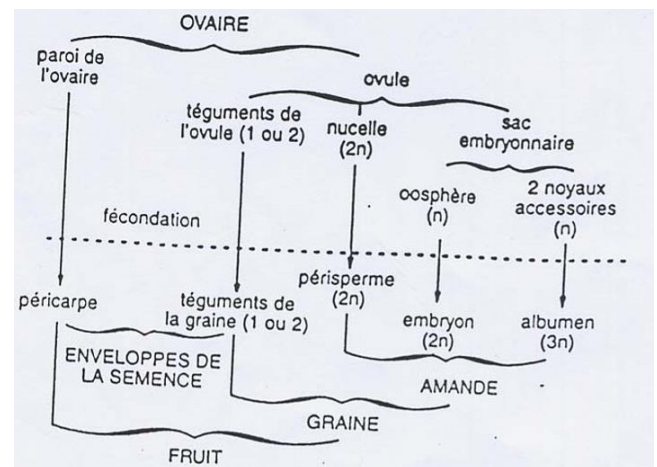
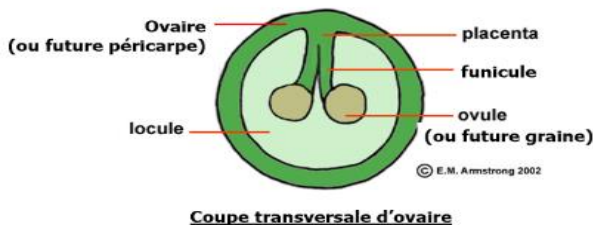
Les pétales sèchent, changent de couleur et indique à l'animal pollinisateur que cette plante n'est plus à polliniser.

- Péricarpe (calice et corolle)
- Étamines
- Stigmate

Dès que le pollen est au niveau du stigmate : signaux qui vont partir du grain de pollen et qui vont diffuser vers le stigmate, sépale, pétale et qui vont entraîner dessèchement / modification de couleurs. Ces signaux peuvent être de l'auxine ou une molécule ACC (qui rentre dans la voie métabolique de formation d'une autre phytohormone qui est l'éthylène). Les signaux augmentent la synthèse d'éthylène dans le stigmate, modification d'expression des gènes puis senescence (vieillesse) qui vient se faire. ACC diffuse jusqu'au péricarpe et forme éthylène.



Le développement de la graine et du fruit : l'ovule évolue en graine et l'ovaire en fruit.



B- Le développement de la graine

Voir 1^{ère} partie du cours.

C- Développement du fruit

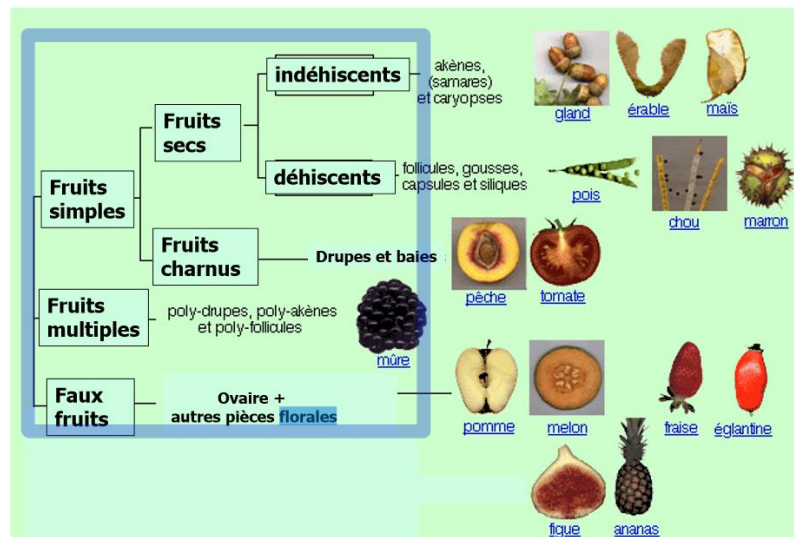
Ovaire qui a évolué en péricarpe qui comporte 3 tissus différents : endocarpe (noyau) / mésocarpe (chair du fruit) et épicarpe (peau du fruit). On peut avoir des fruits qui sont constitués d'autres parties. Autres pièces florales au lieu de disparaître peuvent évoluer. Par exemple chez la pomme réceptacle représente la partie charnue (faux fruits). On peut avoir fruit sec ou fruit charnu. Indéhiscents qui ne s'ouvrent pas

Les fruits simples : uniquement l'ovaire s'est développé, les carpelles sont soudés entre eux avec une seule cavité → fruit secs (l'ovaire se dessèche, les fruits s'ouvrent à maturité et libèrent les graines : fruit déhiscents – indéhiscents ne s'ouvrent pas) et fruit charnus (péricarpe enrichie en réserves, pas de noyau baie : tomate et drupes avec noyau : pêche).

Les baies: le péricarpe (épicarpe, mésocarpe et endocarpe) est entièrement charnu.

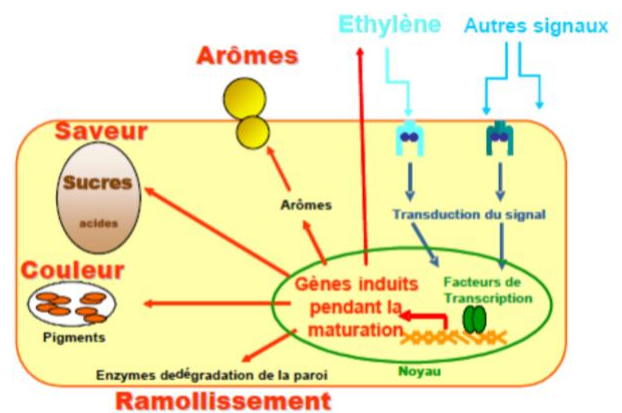
Les graines sont dans la (ou les) loges du carpelles. On les appelle des pépins.

Les drupes: la partie interne du péricarpe (l'endocarpe) est lignifiée et forme un noyau. Les graines situées dans le noyau sont appelées amandes.



En parallèle du développement de la graine :

- **Mise à fruit** : Déclenchée par la pollinisation (dès que pollen est accepté par stigmate), auxines provenant du pollen et des ovules fécondés, auxines transportées dans la paroi de l'ovaire, induction de synthèse de gibbérellines qui modifie l'expression des gènes et enfin, accumulation de carbohydrates qui entraîne la formation d'amidon. Grand nombre de division cellulaire pendant cette étape.
- **Croissance** : Division cellulaire en faible quantité (80% ont eu lieu avant), expansion cellulaire (auxine qui change le pH et induit la formation d'enzymes qui libère les liaisons hydrogènes, dégrade les parois et permet un agrandissement des cellules) qui entraîne élargissement du fruit et forte endopolyploïdisation (forte réplication sans divisions cellulaires)
- **Maturation** : étudié chez les fruits charnus. Saveur du fruit va se développer. Amidon va être hydrolysé et des sucres solubles qui vont s'accumuler et donner le goût du fruit. Acide organique qui s'était accumulé qui vont être hydrolysés et oxydés. Métabolisme des pigments qui changent la couleur. Texture qui va évoluer, on observe un ramollissement du fruit. L'arôme va se développer, composant volatiles qui vont être synthétisés.



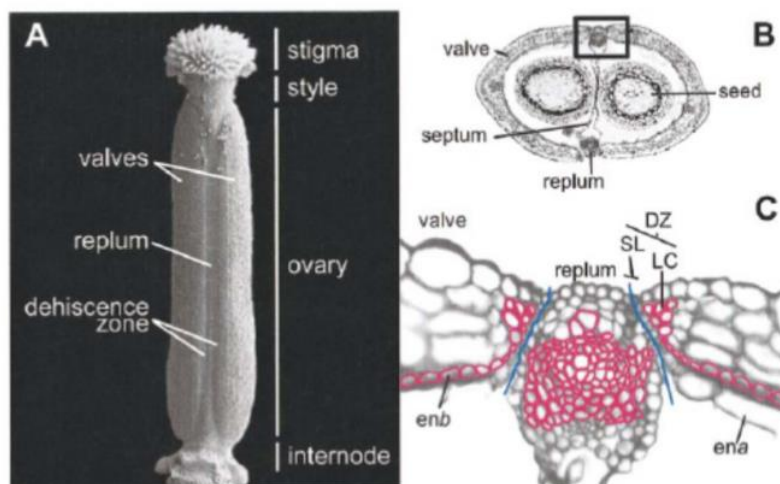
Silique d'Arabidopsis.

Les cellules lignifiées sont soulignées en rouge.

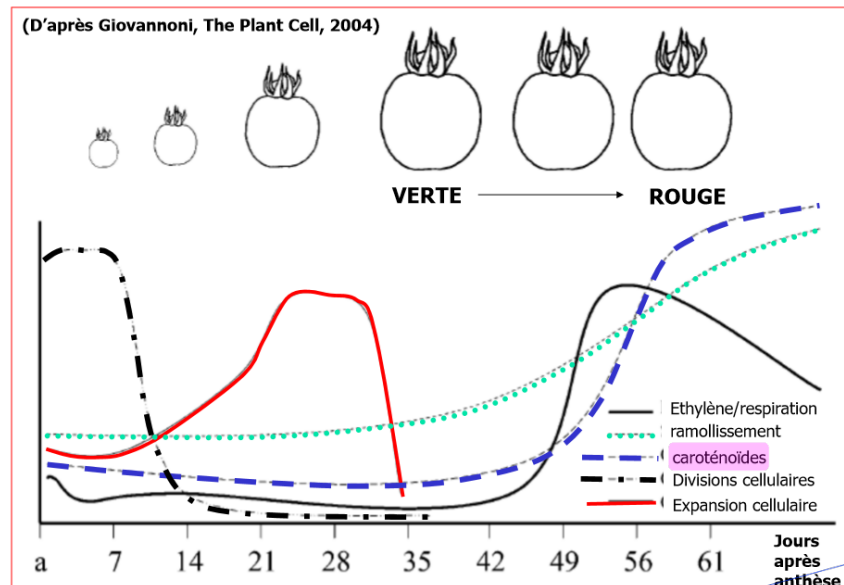
La zone de fracture est signalée par un trait bleu

DZ: zone de déhiscence
SL: zone de séparation non lignifiée
LC: cellules lignifiées

Ferrandiz (2002) J Exp Bot



Lors de la maturation du **fruit sec**, on n'a **pas** de développement d'**arôme**. La **maturation conduit** à ce **dessèchement** et au **déchirement du fruit pour la libération des graines**. Il va y avoir des **lignifications de cellules**. Dans certaines zones les cellules vont avoir leur paroi détruite, et ça allié au dessèchement va conduire au déchirement. Pour que la **déhiscence se fasse** il faut une **diminution d'auxine** (augmentation des enzymes qui dégradent la paroi en bleu).



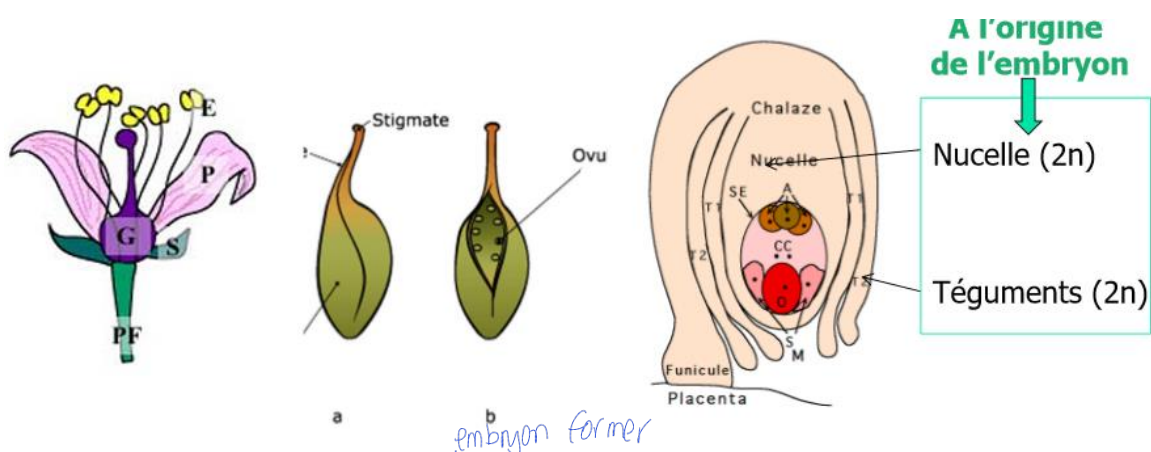
Différents types de fruits selon maturation : **Climactériques** (crise climactérique lors de la maturation, augmentation du pic d'éthylène en même temps qu'un pic de respiration diapo 171, pic de respiration du a la conso des acides organiques peut avoir lieu avant ou après récolte) et **non climactériques**. Exemple de tomate éthylène qui provoque maturation.

➤ Sénescence

IX- UN TYPE DE REPRODUCTION ASEXUÉE : L'AGAMOSPERMIE

Obtention de graine sans fécondation possible, 2 types :

- **Agamospermie sporophytique (embryonie adventive)** : **Pas de sac embryonnaire généré**, une **cellule du nucelle** qui peut se **diviser** et on va **obtenir un embryon diploïde** juste par organisation de ces cellules. **Tégument de l'ovule** va évoluer en **tégument de la graine**. Il peut y avoir **formation d'un ou plusieurs embryons**. Cela **peut se faire en parallèle d'un embryon issu de la double fécondation**. Exemple : **citrus**. Il peut y avoir plusieurs embryons viables.



- **Agamospermie gamétophytique** : Un sac embryonnaire diploïde généré

- **Aposporie** : Un sac embryonnaire est généré à partir d'une cellule du sporophyte ($2n$) par mitoses.
- **Diplosporie** : Un sac embryonnaire est généré à partir d'une cellule germinale ($2n$) mais sans méiose

